



УДК 620.178.16:631.3.022

**Н.Т. Кривочуров, В.В. Иванайский, А.В. Ишков, А.В. Щеголев**  
 N.T. Krivochurov, V.V. Ivanayskiy, A.V. Ishkov, A.V. Shchegolev

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ УПРОЧНЕНИЯ НОЖЕЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ СОЛОМЫ ЗЕРНУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

### ON THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS HARDENING METHODS OF KNIVES OF STRAW CHOPPER AND SPREADER OF A COMBINE HARVESTER

**Ключевые слова:** нож измельчителя-разбрасывателя соломы, комбайн, износ, упрочнение, ТВЧ-наплавка, скоростное ТВЧ-борирование, закалка, отпуск.

Измельчение и разбрасывание по полю незерновой части вороха является заключительной операцией прямого комбайнирования в современных ресурсосберегающих технологиях растениеводства. При этом затупление и износ ножей измельчителя-разбрасывателя соломы (ИРС) зерноуборочного комбайна приводят к дополнительному увеличению расхода горючего до 3-9 л/ч. Для обеспечения работоспособности и постоянного качества реза ножей ИРС их упрочняют различными методами. Проведено сравнительное исследование линейного и весового износа ножей ИРС в условиях их самозатачивания, упрочненных по различным технологиям: вариант 1 – «объемная закалка + отпуск, до твердости 45-50 HRC»; вариант 2 – «скоростное ТВЧ-борирование + объемная закалка + отпуск»; вариант 3 – «ТВЧ-наплавка твердого сплава ПГ-УС25, модифицированного 5 мас.% карбида бора + объемная закалка + отпуск». Показано, что износ ножей происходит неравномерно как по ширине, так и по толщине лезвия, измеренным по фиксированным точкам (базам), на их поверхности образуются зоны наибольшего износа. Наилучшим оказался третий вариант упрочнения. При нанесении этого покрытия на длине 76-80 мм от края ножа, слоем переменной ширины

по оригинальному способу, его износ уменьшается в 2,5-3,1 раза.

**Keywords:** knife of straw chopper and spreader, combine harvester, wear, hardening, HFC-surfacing, high-speed HFC-borating, quenching, tempering.

Chopping and spreading onto a field of non-grain part of a heap is the final operation of direct harvesting in modern resource-saving crop production technologies. At the same time, blunting and wear of the knives of the straw chopper and spreader (SCS) of a combine harvester leads to an additional increase in fuel consumption up to 3...9 L h. To ensure the efficiency and consistent quality of cutting knives of SCS they are strengthened by various methods. This paper presents a comparative study of linear and weight wear of SCS knives hardened by various technologies: Variant 1 – bulk quenching + tempering to a hardness of 45...50 HRC; Variant 2 – high-speed HFC-borating + bulk quenching; and Variant 3 - HFC-surfacing by hard alloy PG-US25 (in Russian) modified by 5 wt. % of boron carbide + bulk quenching. It is shown that the knife wear occurs unevenly both in width and in thickness of the blade measured by fixed points (measure bases); the greatest wear zones are formed on their surfaces. The third hardening variant was found to be the best one. When applying this coating at a length of 76...80 mm from the edge of the knife with a layer of variable width according to the original method, its wear is reduced by 2.5...3.1 times.

**Кривочуров Николай Тихонович**, к.т.н., доцент, зав. каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: krivochurov\_nt@mail.ru.

**Krivochurov Nikolay Tikhonovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: krivochurov\_nt@mail.ru.

**Иванайский Виктор Васильевич**, д.т.н., с.н.с., проф. каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: viv174@bk.ru.

**Ишков Алексей Владимирович**, к.х.н., д.т.н., доцент, проф. каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: aleksey-yishk@rambler.ru.

**Щеголев Александр Владимирович**, аспирант, каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: qq681@mail.ru.

**Ivanayskiy Viktor Vasilyevich**, Dr. Tech. Sci., Senior Staff Scientist, Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: viv174@bk.ru.

**Ishkov Aleksey Vladimirovich**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: alekseyyishk@rambler.ru.

**Shchegolev Aleksandr Vladimirovich**, post-graduate student, Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: qq681@mail.ru.

## Введение

Основной функцией многих рабочих органов сельскохозяйственных машин является измельчение различного биологического материала или почвы (разбивание, раздавливание, разрывание, срезание и пр.). При этом качество измельчения зависит от стабильности формы, размеров и состояния рабочей поверхности этой детали в процессе эксплуатации [1]. Не являются здесь исключением и ножи измельчителя-разбрасывателя соломы (ИРС) зерноуборочного комбайна (ЗК) [2]. Причем, самой распространенной, практически наиболее важной и трудно разрешимой является задача сохранения остроты режущих кромок ножей [3], так как затупление лезвий и/или сглаживание острия, в конечном итоге, вызывает повышение энергозатрат на измельчение. Практически установлено, что затупление и износ ножей ИРС ЗК JohnDeere W540 может приводить к дополнительному увеличению расхода горючего до 3-9 л/ч, в зависимости от урожайности, соотношения зерновой и незерновой части вороха, характеристик комбайна и средней скорости его движения по полю [4]. Поэтому состояние лезвия ножа ИРС, его износ/износостойкость во многом определяют предельные параметры этого рабочего органа [5].

Для обеспечения работоспособности и постоянного качества реза ИРС наиболее предпочтительно использование эффекта самозатачивания, при котором в течение всего срока службы на их режущей кромке будет обнажаться упрочняющий слой, небольшой толщины с твердостью и износостойкостью выше, чем у металла-основы [6]. Тогда для повышения износостойкости и сохра-

нения самозатачивания необходимо увеличивать толщину режущей кромки, одновременно уменьшая толщину упрочняющего слоя, что приводит к техническому противоречию. Для устранения этого противоречия и нахождения компромисса между толщиной лезвия (основы) и упрочняющего покрытия и необходимы сравнительные исследования изнашивания ножей, упрочненных разными методами, в одинаковых условиях [7].

**Целью** работы являлось сравнительное исследование различных вариантов упрочнения ножей ИРС ЗК в условиях их самозатачивания и выбор наиболее эффективного варианта (технологии) упрочнения этой детали.

## Экспериментальная часть

Объект исследований – ножи ИРС, устанавливаемые на ЗК ДОН-1600, Acros, Vector и аналогичные им машины, производимые ГК «Ростсельмаш» (деталь РСМ-10Б.14.62.120), изготовленные из стали 65Г, у которых экспериментально определяли линейные и весовые параметры изнашивания.

Для испытаний из промышленных заготовок были подготовлены три партии (по 8 шт.) экспериментальных ножей, упрочненных по различным вариантам (технологиям): вариант 1 (контроль) – «объемная закалка + отпуск (до твердости 45-50 HRC)»; вариант 2 – «скоростное ТВЧ-борирование + объемная закалка + отпуск»; вариант 3 – «ТВЧ-наплавка твердого сплава ПГ-УС25, модифицированного 5 мас. % карбида бора + объемная закалка + отпуск».

Нанесение упрочняющих покрытий проводилось на 2/3 рабочей длины режущей кромки ножей, поочередно, двумя полосками, со стороны обратной фрезированной поверхности заготовок, на длине 76-80 мм от их края (торца), слоем переменной ширины по способу, описанному в [8]. ТВЧ-борирование и наплавку проводили на ТВЧ-установке – ЭЛСИТ-100/40-70 в водоохлаждаемом индукторе из профилированной медной трубки. Окончательную термообработку осуществляли по принятой на заводе технологии, нагревая и отпуская заготовки в печи СНОЛ и закаливая их в масляной ванне (масло И-20).

Составы и технология осуществления скоростного ТВЧ-борирования подробно описаны в работе [9], аналогичная информация по ТВЧ-наплавке приведена в [10].

Полевые испытания ножей проводились в условиях рядовой эксплуатации при уборке яровых культур (пшеница, рожь, подсолнечник) методом прямого комбайнирования (ЗК-РСМ-142 «ACROS585/550») на полях ФГУП ПЗ «Комсомольское» Павловского района Алтайского края, в августе-сентябре 2018 г., общая площадь уборки 430 физических гектар. Экспериментальные детали были установлены на один из комбайнов в среднюю часть вала ИРС.

Линейный износ деталей определяли измерением их ширины в фиксированных точках (базах) [11] на расстоянии 3, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 95 мм от торца и толщины лезвия на расстоянии 0,5 мм от режущей кромки на расстояниях от торца 10, 20, 30, 50 и 90 мм, используя штангенциркуль ШЦЦ-І-125-0,01 (ГОСТ 166-89) с цифровым отчетным устройством, угольник УШ-1-160 (ГОСТ 3749-77) и штангензубомер 1-26-0,02 (ГОСТ 1643-81). Весовой износ оценивали по убыли массы деталей от средней исходной величины  $276 \pm 3$  г, взвешивая ножи на весах CAS, модель MW-1200, с точностью  $\pm 0,1$  г.

### Результаты и их обсуждение

Так как предполагалось исследовать влияние на самозатачивание ножей ИРС соотношения толщина лезвия/толщина упрочняющего покры-

тия, а также варианта упрочнения, были подготовлены ножи по варианту 3 с толщиной покрытия 0,2-0,3 мм и по варианту 2 с толщиной покрытия 0,05-0,08 мм, которые сравнивались с контрольными ножами, упрочненными только одной объемной термообработкой. Толщина металла основы во всех случаях составила  $5 \pm 0,2$  мм.

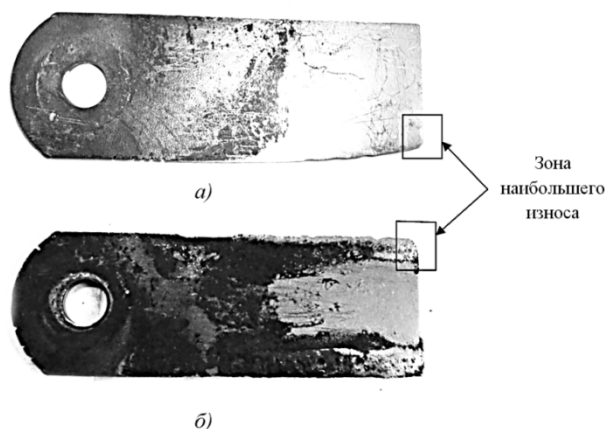
При исследовании параметров линейного изнашивания эксплуатируемых деталей наибольшую трудность представляет измерение толщины их лезвия. Существуют различные методы измерения этого параметра от получения отпечатка на пластинках из свинца или алюминия, с последующей обработкой этих отпечатков до «экзотических» способов с применением растрового электронного микроскопа [12]. Проблема измерения толщины лезвия заключается в том, что до настоящего времени нет общепринятых критериев оценки его остроты [5]. Отсюда вытекает невозможность сопоставления результатов, полученных разными авторами.

Поэтому на первом этапе проводили качественное исследование износа экспериментальных ножей ИРС, которое показало, что независимо от технологии упрочнения их лезвие наиболее интенсивно изнашивается в наиболее удаленной от оси шарнира части – с торца. Причем данная зона имеет небольшие размеры, квадрат со стороной н.б. 3-5 мм, расположенный вблизи от края ножа (рис. 1).

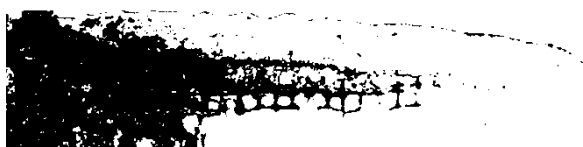
На деталях, упрочненных по варианту 2, также наблюдается локальная зона интенсивного изнашивания, кроме того, на их режущей кромке формируется характерная, «пилообразная» фигура с очень острыми кромками (рис. 2).

Для лезвийных поверхностей рабочих органов остроту их кромки (острия), в самом общем виде, можно определить как «способность создавать и концентрировать контактные напряжения в разрушаемом материале» [13]. Следовательно, чем меньше будет радиус закругления лезвия, тем большие напряжения в обрабатываемом материале оно будет создавать. Тогда, учитывая это положение, у самозатачивающегося ножа наиболее предпочтительно иметь не только малый радиус

закругления, но и наименьший угол заточки, который, по мере увеличения линейного износа, будет увеличиваться. При наличии же покрытия с большей износостойкостью, чем у металла-основы, угол заточки может и не изменяться. Поэтому количественно оценить изменения лезвийной части ножа можно измерив ширину и/или толщину лезвия на некотором фиксированном расстоянии от его кромки/лезвия.



**Рис. 1. Зона наибольшего износа ножей, упрочненных по вариантам 1 (а) и 2 (б)**



**Рис. 2. Пилообразный износ лезвия ножей, упрочненных по варианту 2**

На графике (рис. 3) приведены результаты измерения линейного износа ножа по ширине в заранее выбранных измерительных базах.

Оказалось, что износ ножа по ширине, упрочненного ТВЧ-наплавкой, в среднем в 2,3-2,5 раза меньше у края ножа (в зоне наибольшего износа, рис. 1), чем в остальной части его режущей кромки. По мере удаления от края (торца) детали разница в износе по вариантам упрочнения уменьшается и на расстоянии 60-70 мм становится практически одинаковой для всех исследованных технологий упрочнения.

Как следует из рисунка 3, у ножей, упрочненных ТВЧ-борированием (вариант 2), линейный износ в основных базовых точках (на расстоянии 3, 10, 20, 30, 40 и 50 мм) практически совпадает с износом ножей, упрочненных одной объемной

закалкой (вариант 1). Но на большем расстоянии от края (>50-60 мм), там, где заканчивается зона борирования, их износ увеличивается и, по абсолютному значению, превышает линейный износ контрольных деталей. Практически одинаковые результаты по линейному износу ножей по ширине, упрочненных по вариантам 1 и 2 на меньшем расстоянии от края (<50 мм), могут быть объяснены малой толщиной, анизотропией свойств (твердости) и выкрашиванием упрочняющего слоя, что косвенно подтверждается «пилообразной» формой их лезвия (рис. 2).

Как следует из рисунка 4, наклон кривых линейного износа ножей ИРС по толщине лезвия, в диапазоне расстояний от края детали в 10-50 мм, значительно больше, чем соответствующая (приведенная) величина для износа по ширине. Это подтверждает предположение о более интенсивном износе ножа по толщине, чем по ширине. В то же время толщина лезвия в наиболее изнашиваемой части у ножей, упрочненных ТВЧ-наплавкой (вариант 3), оказалась несколько меньшей, чем на расстоянии 70-80 мм.

В целом, анализируя рисунки 3, 4, можно отметить, что на расстоянии 90-95 мм от края (в зоне наибольшего износа, рис. 1) толщина лезвия ножей, упрочненных как ТВЧ-наплавкой, так и ТВЧ-борированием, оказалась в 1,7-1,9 раза выше, чем исходная толщина лезвия после фрезерования (отмечено пунктиром). Для термообработанных ножей (вариант 1) толщина лезвия в описанной зоне практически не изменилась, в то время как дополнительно нанесенное сюда упрочняющее покрытие, вне зависимости от его вида, всегда приводило к сохранению толщины лезвия ножа.

Хотя известные наплавочные материалы системы Fe-C-Cr (Сормайт-1, 2; сплавы и порошковые смеси ПГ-С, ПГ-УС, ПС и пр.) в настоящее время широко используются в России и за рубежом для упрочнения поверхности деталей, подвергающихся интенсивному абразивному и ударно-абразивному изнашиванию [14, 15]. Износостойкость их тонких слоев, наносимых на лезвийную поверхность детали, оказывается все же недостаточной [16].

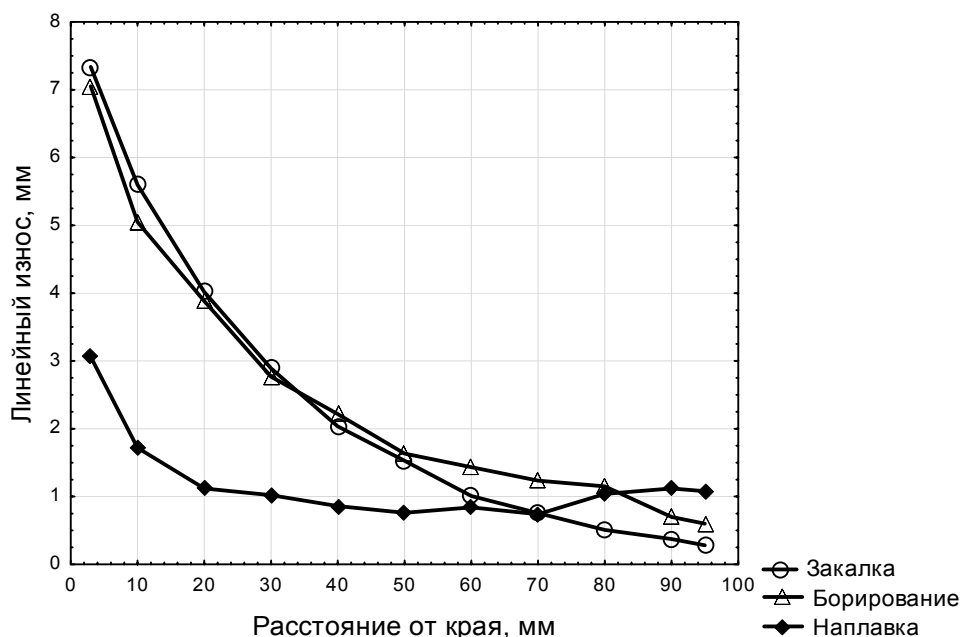


Рис. 3. Линейный износ ножей ИРС по ширине на различном расстоянии от его края (торца)

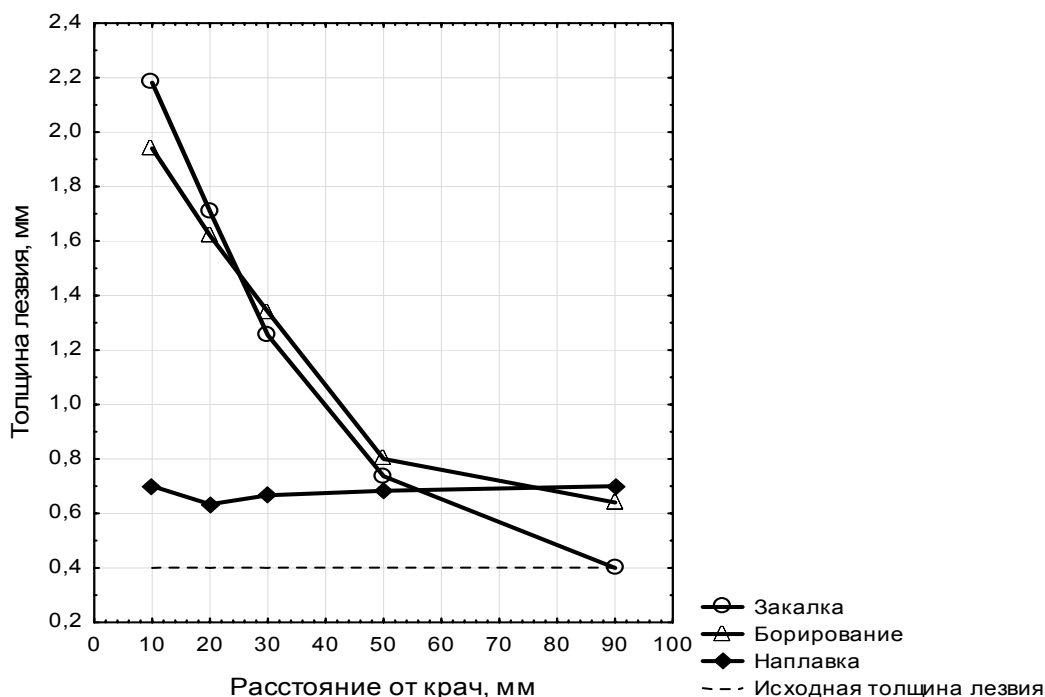


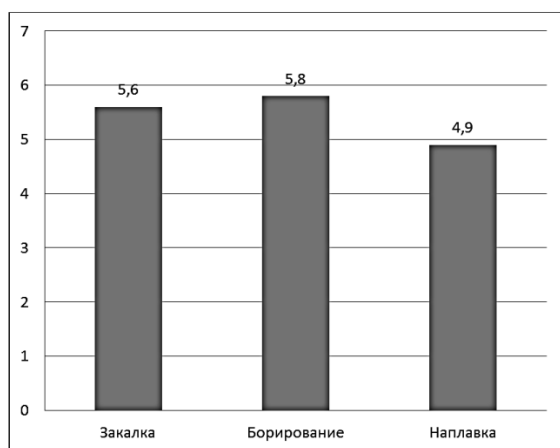
Рис. 4. Линейный износ ножей ИРС по толщине лезвия на расстоянии 0,5 мм от его кромки и на различном расстоянии от края (торца)

Для повышения твердости и износостойкости наплавочных материалов, без существенного изменения технологии их нанесения, можно воспользоваться приемом модификации этих материалов добавками сверхтвердых карбидов металлов (TiC, WC, Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>) [17], карбидов неметаллов или твердых смазок (B<sub>4</sub>C, SiC, MoS<sub>2</sub>), нанося покрытия высокоэнергетическими методами: дуговой, лазерной или плазменной наплавкой [18].

При этом модификатор, вводимый в основной наплавляемый материал, как правило, в небольших (до 5 мас.%) количествах, может улучшать его характеристики за счет различных эффектов: Шарпи, дисперсионного упрочнения, или вступать в химическое взаимодействие с материалом, образуя новые фазы, т.е. являться активным модификатором трения и износостойкости [19].

В качестве модификатора нами был выбран карбид бора, который в условиях ТВЧ-нагрева способен не только осуществлять упрочнение поверхности детали за счет ее борирования (вариант 2), но одновременно борировать и компоненты твердого сплава ПГ-УС25.

Оптимизированная шихта для ТВЧ-наплавки, модифицированная карбидом бора, имела следующий состав, мас. %: ПГ-УС25 – 80; флюс для индукционной наплавки П-0,66 – 15; В<sub>4</sub>С – 5. Карбид бора вводится в известную шихту для ТВЧ-наплавки за счет уменьшения количества флюса, так как при этом содержании он полностью усваивается материалом основы детали (сталь 65Г) и материалом покрытия (ПГ-УС-25). При модификации твердосплавного покрытия 5 мас. % В<sub>4</sub>С его толщина покрытия не изменяется, а макротвердость составляет величину 57-60 НРСэ, что на 2-4 ед. выше не модифицированного покрытия, в то время как на его микрошлифах обнаруживаются области новых фаз, занимающие до 20-30 об. %, с микротвердостью (HV<sub>100</sub>) 800-1000 МПа, что приводит к увеличению его износостойкости без нарушения условий самозатачивания детали [6].



**Рис. 5. Весовой износ ножей ИРС, упрочненных по различным вариантам**

Сравнение экспериментальных ножей ИРС по весовому износу (рис. 5) не выявило особых преимуществ их упрочнения ТВЧ-борированием, в то же время износ ножей, упрочненных ТВЧ-наплавкой сплава ПГ-УС25, модифицированного 5 мас. % В<sub>4</sub>С, оказался в 1,2 раза меньше контроля. Такие результаты, очевидно, объясняются

более интенсивным изнашиванием ножей в других участках их поверхности, которые не подвергались упрочнению. Кроме того, при наработке исследованных деталей в 430 га этот параметр оказался малоинформативным.

Таким образом, вариант упрочнения ножей ИРС ТВЧ-наплавкой покрытием из материала ПГ-УС25, модифицированного 5 мас. % В<sub>4</sub>С, при нанесении его в зоны наибольшего износа детали, способен в 2,5-3,1 раза уменьшить величину линейного износа ножей ИРС как по ширине, так и по толщине лезвия, обеспечить эффект их самозатачивания и является предпочтительным в сравнении с другими исследованными способами.

Таким образом, для эффективного повышения износостойкости ножа ИРС, увеличения его ресурса и обеспечения эффекта самозатачивания ширина и толщина упрочненного слоя должна быть больше величины предельного износа, т.е. должна основываться на знании всех характеристик износа детали [20]. Следовательно, для обоснования геометрических параметров упрочненной зоны и разработки технологии упрочнения ножа ИРС необходимо учитывать не только линейный износ лезвия по ширине и износ упрочненного слоя по толщине, но и правильно оценивать форму самой фигуры износа.

### Выводы

1. При эксплуатации упрочненных ножей ИРС, вплоть до наработки в 430 га, на их поверхности, независимо от технологии упрочнения, формируются зоны наибольшего изнашивания: область, размерами н.б. 9-25 мм<sup>2</sup>, расположенная вблизи края (торца) ножа, и лезвие ножа на всем его протяжении 100 мм.

2. Линейный износ ножа по ширине, упрочненного ТВЧ-наплавкой, в 2,3-2,5 раза меньше у его края, чем в остальной части режущей кромки, причем, по мере удаления от торца детали разница в износе по вариантам упрочнения 1, 2 и 3 уменьшается и на расстоянии 60-70 мм становится практически одинаковой.

3. Интенсивность линейного износа ножа по толщине лезвия, измеренная на расстоянии

0,5 мм от его режущей кромки, и на расстоянии 10-50 мм, оказалась значительной больше, чем аналогичная (приведенная) величина износа по ширине.

4. Весовой износ ножей ИРС, упрочненных по вариантам 1 и 2, одинаков, в пределах ошибки эксперимента, в то время как износ ножей, упрочненных ТВЧ-наплавкой сплава ПГ-УС25, модифицированного 5 мас.%  $V_4C$ , оказался в 1,2 раза меньше контроля.

### Библиографический список

1. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев и др. – Л.: Колос, 1972. – 288 с.
2. Ягельский М.Ю., Родимцев С.А. Оценка качества работы соломоизмельчителя зерноуборочного комбайна // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 6. – С. 47-49.
3. Филиппов, Г.В. Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение, 1981. – 392 с.
4. Официальный сайт JohnDeere в России / Калькулятор периодичности замены ножей измельчителя. – Режим доступа: URL [http://www.deere.ru/ru\\_RU/tools/chopper\\_knives\\_calculator/chopper\\_knives\\_calculator.page](http://www.deere.ru/ru_RU/tools/chopper_knives_calculator/chopper_knives_calculator.page) (дата обращения: 05.08.2018).
5. Шаповалов В.И., Нежинский Я.И. Исследование изнашивания и самозатачивания ножей измельчителей. – Режим доступа: URL <http://uchebilka.ru/kultura/127537/index.html> (дата обращения: 05.08.2018).
6. Баряян А.Г. Получение эффекта самозатачивания // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 12. – С. 23-24.
7. Дементьев Ю.Н. Ускоренные испытания ножей почвенных фрез на износ // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (150). – С. 142-148.
8. Пат. № 2665483RU, МПКВ23Р 6/00. Способ изготовления ножа соломоизмельчителя / Иванайский В.В., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ. – Заявка. № 2017120659; заявл. 13.06.17; опубл. 30.08.2018, Бюл. № 25. – 9 с.
9. Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Мишустин Н.М. и др. Износостойкие боридные покрытия для почвообрабатывающих органов сельхозтехники // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 9 (71). – С. 71-75.
10. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 183 с.
11. ГОСТ 30479-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы установления предельного износа, обеспечивающего требуемый уровень безопасности. Общие требования.
12. Щербина В.И., Полуян В.А. Повышение износостойкости ножей барабанных измельчителей кормоуборочных комбайнов // Вестник аграрной науки Дона. – 2012. – № 1. – С. 35-39.
13. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.
14. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ: каталог. – Киев; М.: ВИНТИ, 1979. – 619 с.
15. Laird G., Gundlach R., Rohrig K. (2000). Abrasion-resistant Cast Iron Handbook. Ed. American Foundry Society. Schaumburg, USA. pp. 1-222.
16. Shchegolev, A.V., Aulov V.F., Ishkov A.V., et al. (2018). Modification of wear-resistant coatings of Fe-Cr-C system based on the  $Cr_3C_2$  obtained with help of SHS method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 441: 012047. doi:10.1088/1757-899X/441/1/012047.
17. Рябцев И.А., Панфилов А.И., Бабинец А.А. и др. Структура и износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного металла, упрочненного карбидами различных типов // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5-6 (742). – С. 84-88.
18. Okovityi V.A. (2002). Plasma wear-resistant coatings with inclusions of a solid lubricant. Welding International. 16 (11): 918-920.
19. Трение, изнашивание и смазка: справочник: в 2 кн. / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
20. Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Ишков А.В. и др. Особенности изнашивания пальцев гусениц сельскохозяйственных тракторов и специальных ма-

шин с открытыми металлическими шарнирами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 7 (141). – С. 157-162.

### References

1. Severnev M.M. i dr. Iznos detaley selskokhozyaystvennykh mashin. – L.: Kolos, 1972. – 288 s.
2. Yagelskiy M.Yu., Rodimtsev S.A. Otsenka kachestva raboty solomoizmelchatelya zernoubo-rochnogo kombayna // Traktory i selkhoz mashiny. – 2013. – No. 6. – S. 47-49.
3. Filippov G.V. Rezhushchiy instrument. – L.: Mashinostroenie, 1981. – 392 s.
4. Ofitsialnyy sayt John Deere v Rossii / Kalkulyator periodichnosti zameny nozhey izmelchatelya [Elektronnyy resurs] – URL: [http://www.deere.ru/ru\\_RU/tools/chopper\\_knives\\_calculator/chopper\\_knives\\_calculator.page](http://www.deere.ru/ru_RU/tools/chopper_knives_calculator/chopper_knives_calculator.page) (data obrashcheniya: 05.08.2018).
5. Shapovalov V.I., Nezhinskiy Ya.I. Issledovanie iznashivaniya i samozatachivaniya nozhey izmelchatelya. [Elektronnyy resurs]. – URL: <http://uchebilka.ru/kultura/127537/index.html> (data obrashcheniya: 05.08.2018).
6. Bareyan A.G. Poluchenie effekta samozatachivaniya // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – 2005. – No. 12. – S. 23-24.
7. Dementev Yu.N. Uskorennyye ispytaniya nozhey pochvennykh frez na iznos // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 4 (150). – S. 142-148.
8. Sposob izgotovleniya nozha solomoizmelchatelya. Pat. № 2665483RU, MPKV23R 6/00 / Ivnayskiy V.V., Ishkov A.V., Krivochurov N.T. i dr.; zayavitel i patentoobladatel FGBOU VO «Altayskiy GAU». – Zayavka No. 2017120659; zayavl. 13.06.17; opubl. 30.08.2018. – Byul. No. 25. – 9 s.
9. Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Mishustin N.M. i dr. Iznosostoykie boridnye pokrytiya dlya pochvoobrabatyvayushchikh organov selkhoztekhniki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – No. 9 (71). – S. 71-75.
10. Tkachev V.N., Fishteyn B.M., Kazintsev N.V., Aldyrev D.A. Induktsionnaya naplavka tverdykh splavov. – M.: Mashinostroenie, 1970. – 183 s.
11. GOST 30479-97. Obespechenie iznosostoykosti izdeliy. Metody ustanovleniya predelnogo iznosa, obespechivayushchego trebuemyy uroven bezopasnosti. Obshchie trebovaniya.
12. Shcherbina V.I., Poluyan V.A. Povyshenie iznosostoykosti nozhey barabannykh izmelchatelya kormoubo-rochnykh kombaynov // Vestnik agrarnoy nauki Dona. – 2012. – No. 1. – S. 35-39.
13. Reznik N.Ye. Teoriya rezaniya lezviem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 311 s.
14. Naplavochnye materialy stran-chlenov SEV: katalog. – Kiev-M.: VINITI, 1979. – 619 s.
15. Laird G., Gundlach R., Rohrig K. (2000). Abrasion-resistant Cast Iron Handbook. Ed. American Foundry Society. Schaumburg, USA. pp. 1-222.
16. Shchegolev, A.V., Aulov V.F., Ishkov A.V., et al. (2018). Modification of wear-resistant coatings of Fe-Cr-C system based on the Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> obtained with help of SHS method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 441: 012047. doi:10.1088/1757-899X/441/1/012047.
17. Ryabtsev I.A., Panfilov A.I., Babinets A.A. i dr. Struktura i iznosostoykost pri abrazivnom iznashivanii naplavennogo metalla, uprochnennogo karbidami razlichnykh tipov // Avtomaticheskaya svarka. – 2015. – No. 5-6 (742). – S. 84-88.
18. Okovityi V.A. (2002). Plasma wear-resistant coatings with inclusions of a solid lubricant. Welding International. 16 (11): 918-920.
19. Trenie, iznashivanie i smazka: spravochnik, v 2-kh kn. / pod red. I.V. Kragelskogo, V.V. Alisina. – Kn. 1. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 400 s.
20. Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V. i dr. Osobennosti iznashivaniya paltsev gusenits selskokhozyaystvennykh traktorov i spetsialnykh mashin s otkrytymi metallicheskimy sharnirami // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 7 (141). – S. 157-162.

