

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Бетеня Г.Ф., канд. техн. наук, доц., Анискович Г.И. канд. техн. наук, доц. (БГАТУ),

Голубев В.С., канд. физ.-матем. наук,

Давидович А.Н., канд. техн. наук; (ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»)

ч.р.к. 631.3.02

Детали рабочих органов большинства сельскохозяйственных машин, и особенно почворежущие детали (ПРД), непрерывно подвергаются ударным нагрузкам, абразивному износу и химическому воздействию обрабатываемой среды. Быстрый износ таких деталей, кроме затрат средств на изготовление запасных комплектов, приводит также к простоям сельскохозяйственной техники.

Работоспособное состояние ПРД определяется значениями всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствующие требованиям конструкторской документации. Основными такими параметрами, характеризующими функциональные качества ПРД, являются: способность к заглублению; тяговое сопротивление перемещению в почвенном слое; ресурс; прочность; ударная вязкость; сохраняемость остроты лезвия (так называемого стабилизированного почворежущего профиля).

Технические решения для достижения высокой работоспособности изделий должны учитывать целый комплекс факторов. К числу основных из них относятся триботехнические, конструкторские технологические, материаловедческие, эксплуатационные и экономические.

Отличительными признаками таких изделий являются:

– относительная износостойкость основного металла в 2,5..3 раза должна превышать этот показатель в сравнении с эталоном (сталь 45 в отожженном состоянии);

– твердость поверхностей трения должна находиться на уровне максимальных значений для среднеуглеродистых сталей и составлять не менее 58..60 HRCэ;

– ударная вязкость основного металла должна быть в пределах 0,6..1,25 МДж/м²;

– прочность основного металла вместо 500..800 МПа для исключения поломок и деформаций изделий должна составлять не менее 1500..2000 МПа;

– угол резания и угол заострения лезвия почворежущего профиля изделия не должны превышать 30°;

– сохраняемость остроты лезвия, так называемого стабилизированного профиля, характеризуемое непрерывным воспроизведением его исходной геометрии в процессе работы.

Зарубежные фирмы для производства ПРД применяют мало- и среднеуглеродистые марганцовистые (1,25–1,53%Mn) стали. Они, как правило, микролегированы бором с технологическими добавками титана и алюминия. Из сталей такого типа изготавливают рабочие органы сельхозмашин немецкая фирма «Rabewerk» (сталь 40ГР, 50...53 HRC), французская фирма «KUNN» (сталь 30ГР, 42...53 HRC), норвежская фирма «Kverneland» (сталь 30Г2Р, 48...52 HRC). Наряду с этим у ряда зарубежных фирм-производителей «Vogel&Noot», «Lemken» «Unia» и др. получили применение так называемые бористые стали марок SB21M10B, SB27M12CB и SB43M14B. Они характеризуются следующим химсоставом (таблица 1).

Таблица 1. Химический состав сталей

Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	B
SB21M10B	0,18- 0,23	0,15- 0,35	0,90- 1,10	<0,035	<0,035	0,10-0,30	0,001- 0,003
SB27M12CB	0,40- 0,46	0,15- 0,35	1,30- 1,50	<0,035	<0,035	0,008- 0,025	0,001- 0,003
SB43M14B	0,25- 0,30	0,15- 0,35	1,0-1,4	<0,035	<0,035	0,30-0,60	0,001- 0,006

Детали из этих сталей по всему сечению имеют одинаковую микроструктуру характеризующуюся троостомартенситным строением (рис. 1).



Рисунок 1. Микроструктура закалённой стали до твёрдости 48...52 HRC

Стали SB21M10B, SB27M12CB и SB43M14B в зависимости от способа термообработки, позволяют получать твёрдость 48...52 HRC, ударную вязкость 0,32...0,34 МДж/м². Типовые представители деталей фирмы «Vogel&Noot» показаны на рисунке 2.

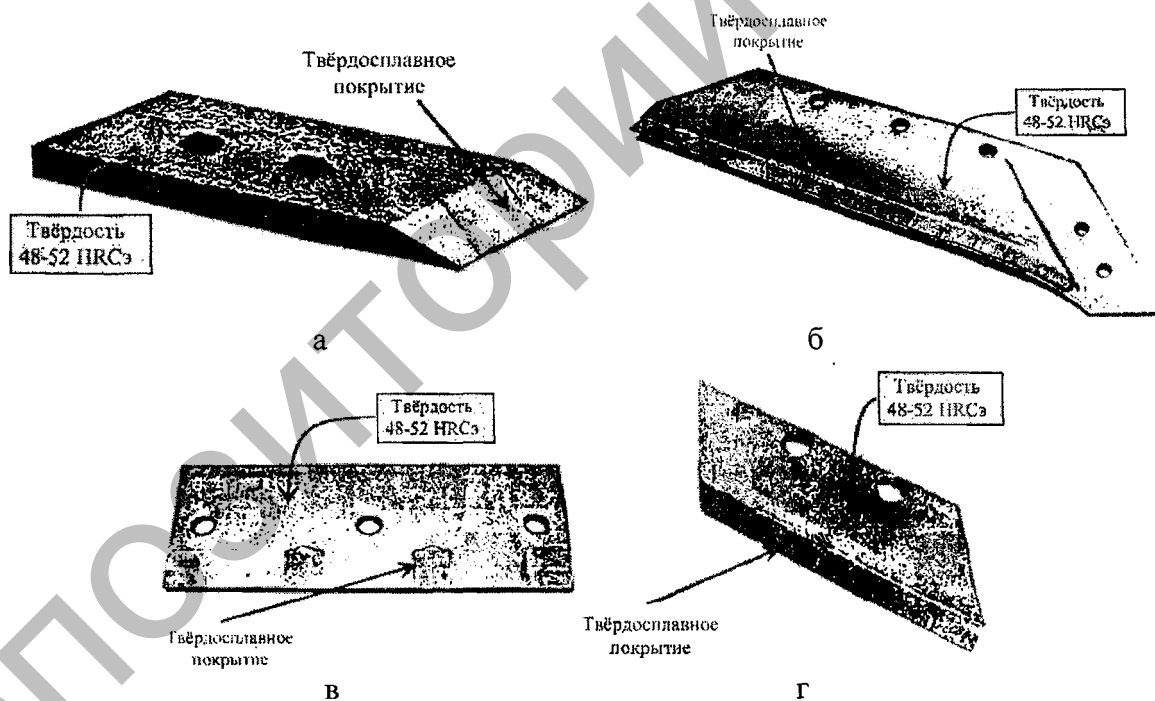


Рисунок 2. Твёрдость поверхности и характерные упрочнённые зоны типовых представителей ПРД западноевропейских фирм:

- а – долото плуга («Kverneland», «Lemken», «Gregoire Besson», «Vogel&Noot»);
- б – лемех плуга («Vogel&Noot»); в – полевая доска («Vogel&Noot»);
- г – лемех предплужника («Vogel&Noot»)

В последние годы отдельные западноевропейские фирмы используют новые материалы и технологии для изготовления ПРД. Отличительной особенностью производимых изделий являются их твёрдость в поперечном сечении (рис. 3).

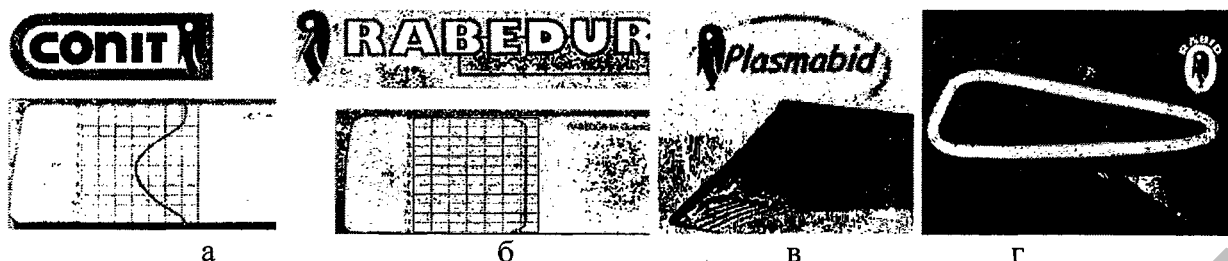


Рисунок 3. Распределение твердости по сечению и типовые технологии применяемые при производстве ПРД немецкой фирмой «Rabewerk»:
а – технология «Conit»; б – технология «Rabedur»; в – технология «Plasmabid»; г – технология «Rabid»

На рис. 4 представлена схема распределения твёрдости в поперечном сечении изделия (на примере отвала) в зависимости от выбранного материала. Такие изделия характеризуются высокой работоспособностью в эксплуатационных условиях. Преимуществами используемых материалов и технологий для производства ПРД являются: низкое содержание дорогостоящих легирующих элементов; хорошая закаливается; детали обладают достаточной ударной вязкостью; простая и недорогая термообработка; малая чувствительность к появлению закалочных трещин и короблению; возможность закалки сразу послековки; хорошая комбинация ударной вязкости и прочности.

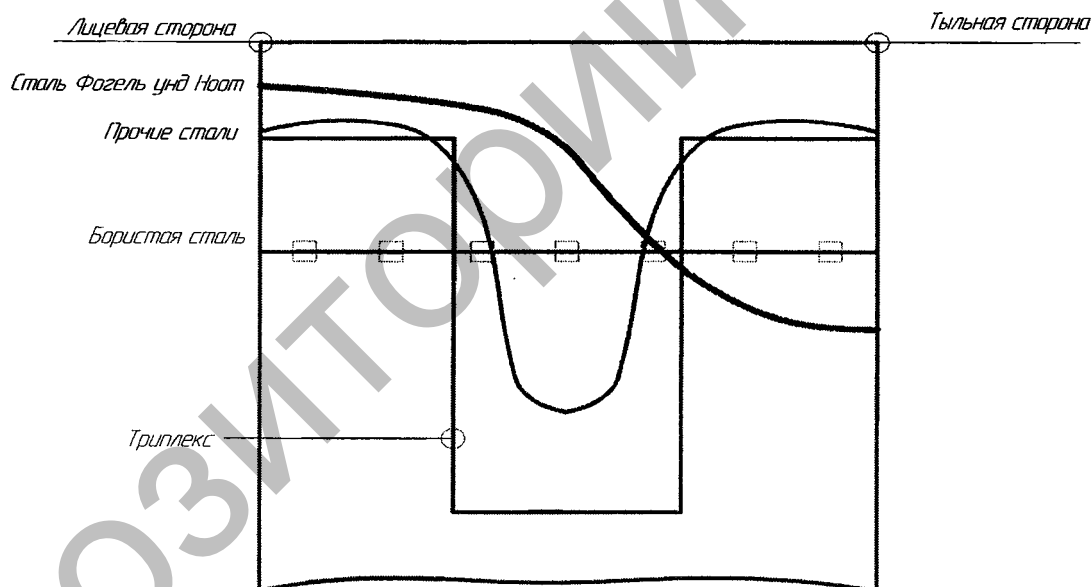


Рисунок 4. Схема распределения твёрдости в поперечном сечении отвала в зависимости от выбранного материала

Применяемые в настоящее время отечественными производителями в качестве материала основы почворезущих деталей стали марок 35; 45; 40X; Л53; 65Г; 55С2; 60С2 и др. не удовлетворяют требованиям изделий нового поколения из-за низкого уровня твёрдости и прочности. Такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих западноевропейских фирм.

Заслуживают внимания для изготовления деталей рабочих органов машин новые перспективные материалы, имеющиеся на рынке СНГ—стали пониженной прокаливаемости (ПП). Они имеют следующие модификации: сталь 58 (55ПП) ГОСТ 1050-88, сталь 60ПП – ТУ завода изготовителя. Эти материалы характеризуются следующим химическим составом:

углерод– 0,5...0,65%; марганец– 0,1..0,3%; кремний– 0,1..0,3%; хром, никель и медь– не более 0,25% каждого.

При производстве ПРД из этих материалов находят применение новые перспективные методы упрочнения. При этом детали из стали ПП имеют диссипативное строение. Твёрдость поверхностного слоя составляет 58...64 HRCэ при относительно мягкой сердцевине – 28...42 HRCэ. Они имеют высокий комплекс механических свойств (прочность 2100...2300 МПа, ударная вязкость от 0,6 МДж/м² до 1,25 МДж/м²). Микроструктура закалённого, промежуточного слоя и сердцевины представлена на рисунке 5. По основным технико-экономическим показателям они превосходят материалы, используемые западноевропейскими производителями.

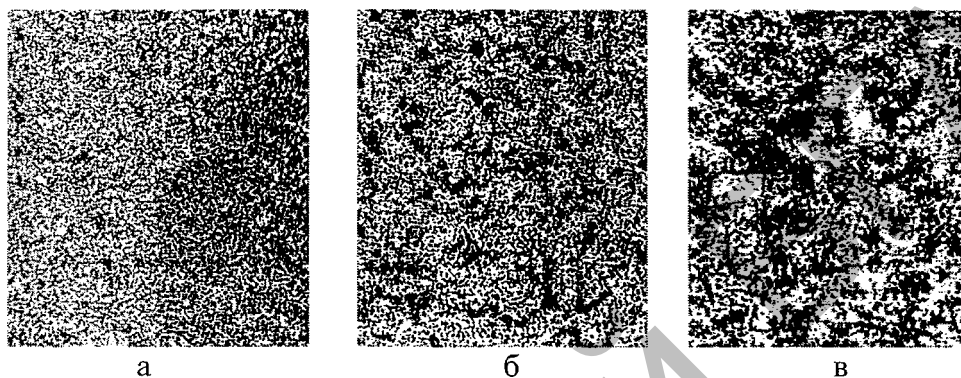


Рисунок 5. Фотографии микроструктуры в поперечном сечении плоского образца в характерных зонах:

а – поверхностный слой; б – промежуточный слой; в – сердцевина

Представленный пример научного поиска решения проблемы свидетельствует о необходимости перехода на использование современных достижений научно-технического прогресса на всех этапах их изготовления: получение заготовки и её упрочнение. При этом должны широко применяться ресурс- и энергосберегающие технологии: тепловое и горячее термомпластическое деформирование, объёмное термическое модифицирование; высокочастотное объёмное термическое модифицирование; лазерное упрочнение; плазменное упрочнение, диффузионное намораживание и др. методы.

В основу технологий получения заготовок деталей рабочих органов должны быть положены методы плазменной и лазерной резки (раскройки листового проката), штамповки,ковки, поперечной и продольной клиновой прокатки. Особое внимание должно быть уделено технологии формообразования режущей части деталей. Обработку резанием при заточке лицевой части изделия должны заменить высокопроизводительные технологии с применением поперечной и продольной клиновой прокатки (рис. 6).

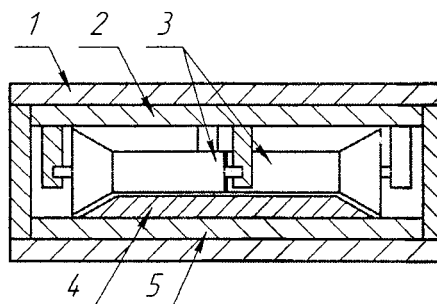


Рисунок 6. Принципиальная схема поперечной клиновой прокатки:

1 – станина; 2 – упор; 3 – ролики; 4 – заготовка; 5 – плита

В лаборатории поперечной клиновой прокатки ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» разработаны технологии термопластической обработки заготовок ножей измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна, лемехов плугов, лап культиваторов, ножей свеклоуборочного комбайна, зубьев роторной бороны, ножей роторной косилки. Заготовки ножей измельчителя в процессе формообразования лезвийной части в клети прокатного стана и после прокатки показаны на рисунках 7 и 8.

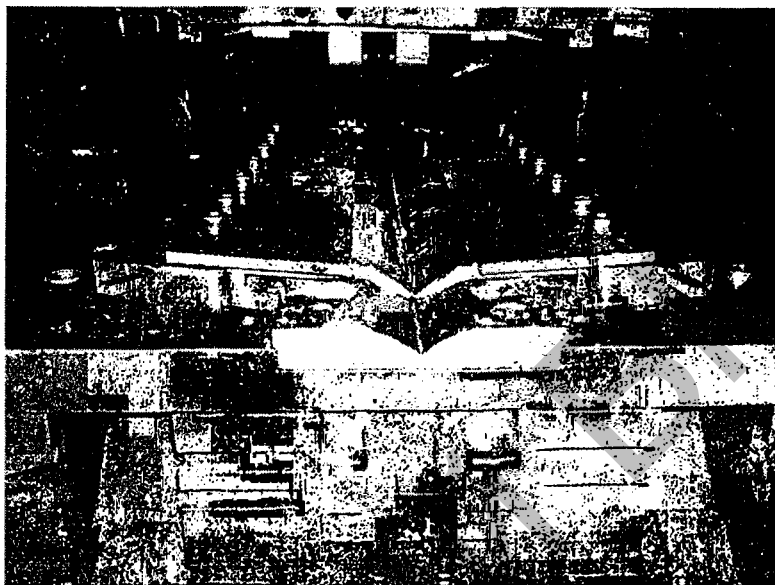


Рисунок 7. Накатка лезвий ножа измельчителя методом термопластической обработки



Рисунок 8. Заготовки ножей измельчителя, формообразование лезвийной части которых выполнено термопластической обработкой

Полученная заготовка после поперечной или продольной прокатки подвергается объемному термическому или высокочастотному объемному термическому модифицированию и другим методам упрочнения.

Объемное термическое модифицирование осуществляется термическим воздействием на деталь в твердом состоянии. Воздействие осуществляется как в непрерывном, так в импульсном режиме нагрева. Наибольшее распространение получила поверхностная закалка, обусловленная полиморфными превращениями. При этом в поверхностном слое может

происходить существенное изменение параметров кристаллической решётки, а также изменение типа решётки. В общем случае происходит изменение зеренной структуры (рис. 9).

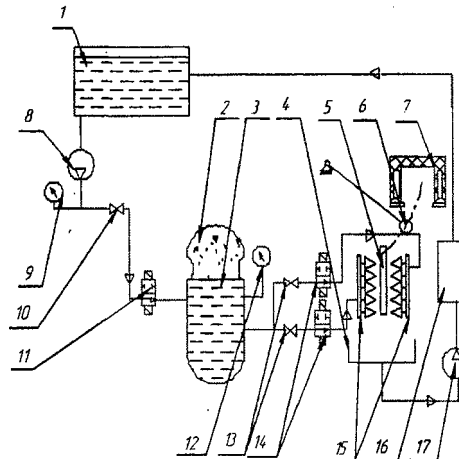


Рисунок 9. Кинематическая схема установки для термического модифицирования:
1-резервуар; 2-колпак рессивера; 3-ёмкость рессивера; 4-закалочная ванна; 5-деталь;
6-механизм загрузки и выгрузки; 7-печь сопротивления; 8-насос; 9-потенциометр; 10-кран; 11-
пневмоклапан; 12-манометр; 13-кран; 14-пневмоклапан;
15-спрейеры; 16-станция охлаждения; 17-насос

Она состоит из двух переходов: нагрева детали и быстрого её охлаждения. Поверхностную закалку применяют обычно для образования твёрдого износостойкого слоя на определённых участках деталей, изготовленных из средне – и высокоуглеродистых и перлитных сталей, ковкого, серого и высокопрочного чугунов с содержанием 0,6% связанного углерода.

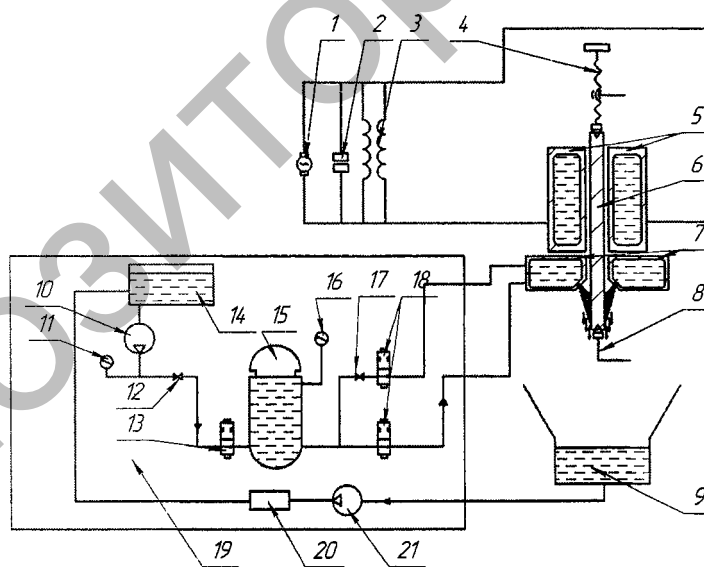


Рисунок 10. Совмещённая кинематическая схема установки для высокочастотного непрерывно-последовательного термического модифицирования: 1-генератор;
2-компенсатор; 3- трансформатор; 4- прижимной винт; 5- индуктор; 6- заготовка;
7- спрейер; 8- планшайба; 9-ванна с водой; 10- насос; 11- манометр; 12-кран;
13- пневмоклапан; 14- резервуар; 15-рессивер; 16- манометр; 17- кран;
18-пневмо-клапан; 19- технологический модуль для охлаждения;
20-станция охладительная; 21- насос

При высокочастотном непрерывно-последовательном термическом модифицировании поверхностный слой разогревается индуктором до температуры закалки. Затем нагретая поверхность резко охлаждается водяным душем (рис.10).

При высокочастотном термическом модифицировании закаливаются поверхностные слои, основа при этом остается вязкой, что предохраняет деталь от хрупкого излома при циклическом действии нагрузки.

В технологическом научно-производственном центре «Технологические методы повышения работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники» БГАТУ разработаны технологии термического модифицирования ножей измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна «Ягуар», деталей корпуса плуга – оборотных долот, лемехов, грудей отвала, полевых досок, рыхлительных лап культиваторов, лемехов-копачей свеклоуборочного комбайна «Холмер». Анализ микроструктуры опытных образцов деталей корпуса плуга показал, что в результате применения нитроцементации с последующей объемно-поверхностной закалкой и низким отпуском структура упрочненного слоя грудей отвалов (рис.11) состоит из мелкокристаллического мартенсита, незначительного количества мелких равномерно распределенных карбонитридов и возможно остаточного аустенита, структура сердцевины – мелкоигльчатый мартенсит. Структура закаленного слоя лемеха (рис.12) представляет собой среднеигльчатый мартенсит, сердцевины – троостосорбит. Структура закаленного слоя полевой доски (рис.13) – мартенсит мелкоигльчатый, а ее сердцевины – сорбит.

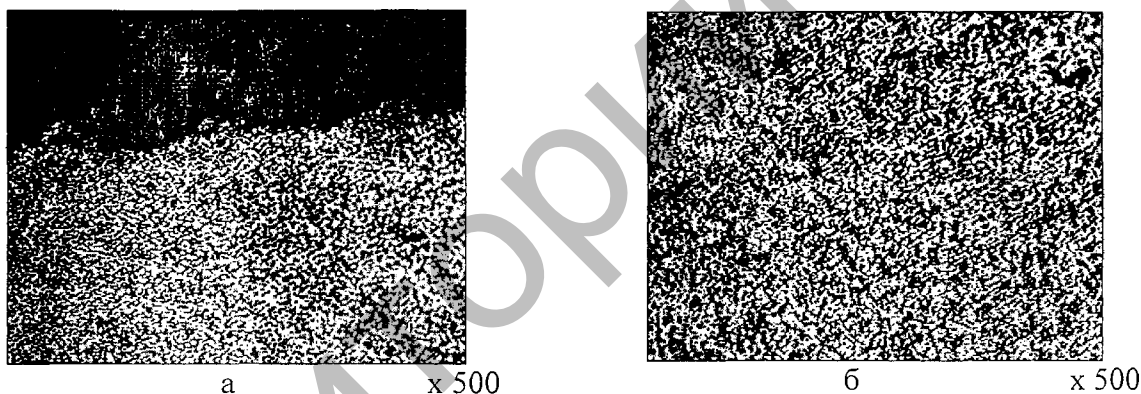


Рисунок 11. Микроструктура опытных образцов грудей отвалов образцов изготовленных из стали 60ПП после нитроцементации с последующей объемной поверхностной закалкой и низким отпуском: (а – поверхностный слой, б – сердцевина)

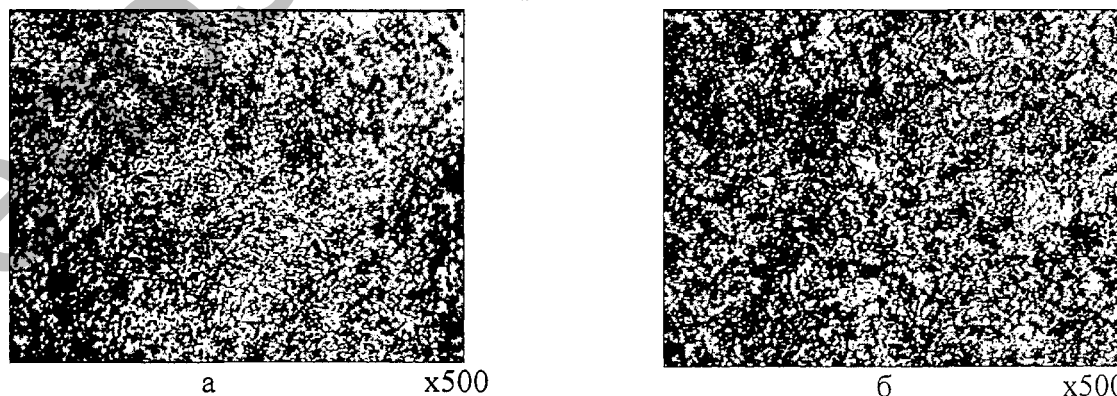


Рисунок 12. Микроструктура опытных образцов лемехов изготовленных из стали 60ПП после нитроцементации с последующей объемной поверхностной закалкой и низким отпуском: (а – поверхностный слой, б – сердцевина)

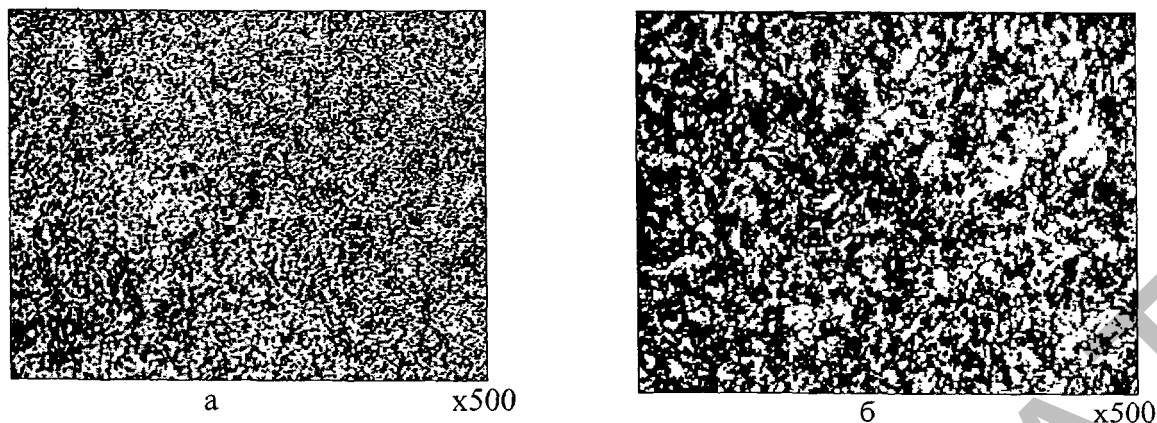


Рисунок 13. Микроструктура опытных образцов полевых досок изготовленных из стали 60ПП после нитроцементации с последующей объемной поверхностной закалкой и низким отпускком: (а – поверхностный слой, б – сердцевина)

Распределение твердости по толщине опытных образцов деталей представлены на рисунках 14 – 16.

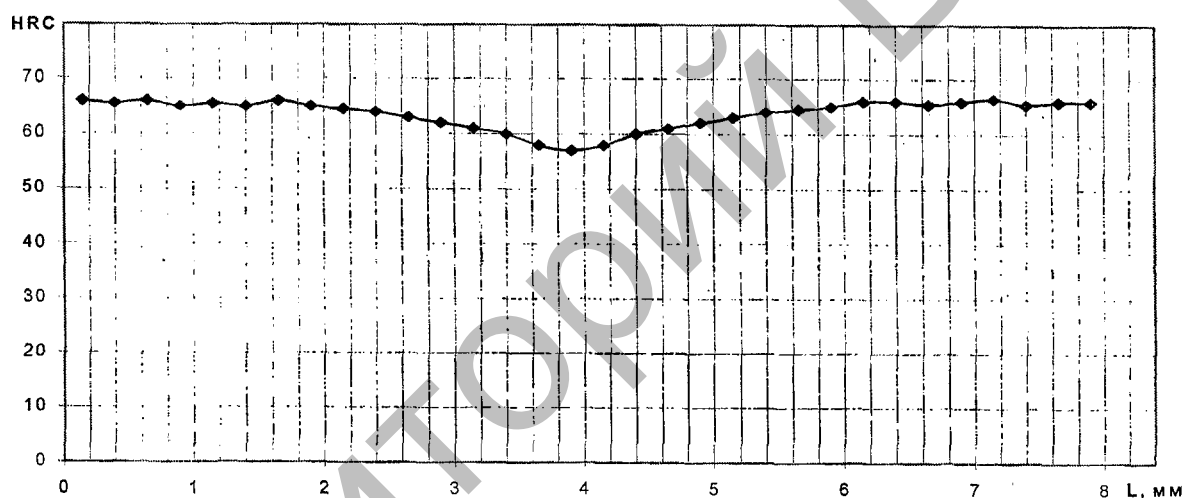


Рисунок 14. Распределение твердости по толщине опытных образцов грудей отвалов

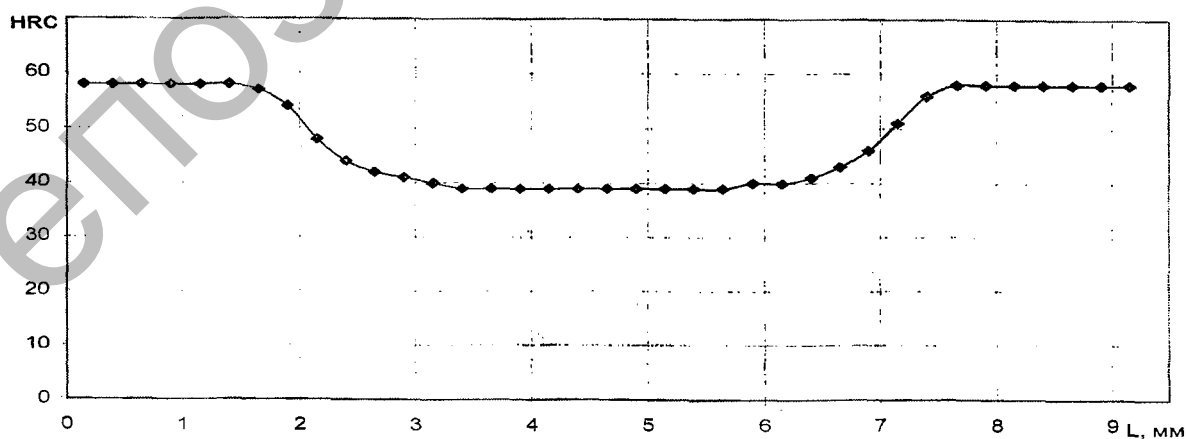


Рисунок 15. Распределение твердости по толщине опытных образцов лемехов

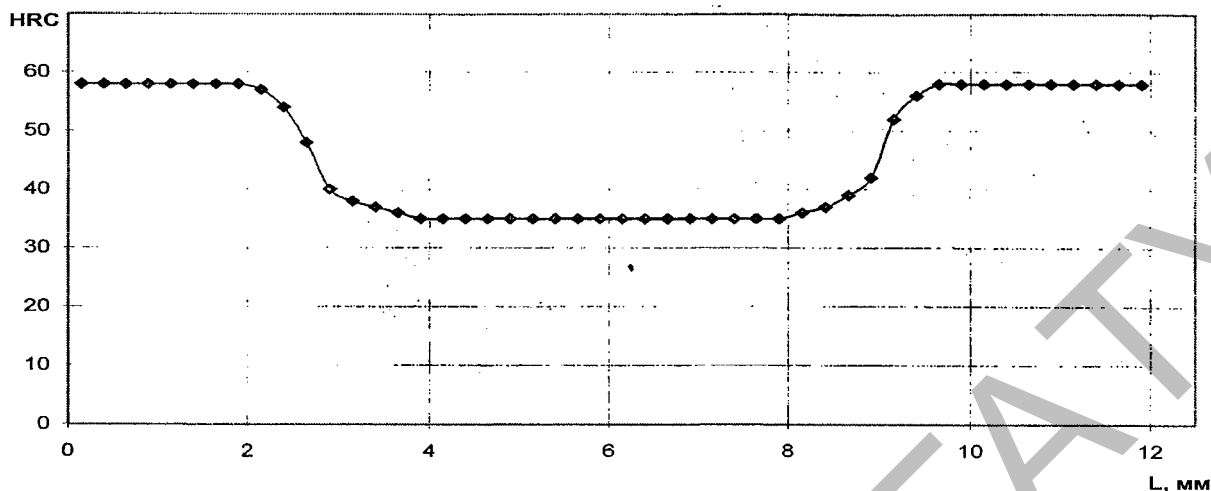


Рисунок 16. Распределение твердости по толщине опытных образцов полевых досок

По результатам приемочных испытаний термически модифицированных деталей корпуса плуга, проводимых в ИЦ ГУ «Белорусская МИС», износостойкость опытных образцов лемехов в 1,5 раза, полевых досок в 4,67 раза и грудей отвалов в 1,56 раза выше износостойкости аналогичных деталей отечественного производства (РУП «Сморгонский агрегатный завод») и сопоставима с износостойкостью деталей импортного производства (фирма «Квернеланд»).

На заключительных этапах изготовления деталей рабочих органов могут применяться лазерные технологии. Лазерное упрочнение (закалка) основано в локальном нагреве поверхности до сверхкритических температур лазерным излучением. После прекращения действия источника излучения этот участок охлаждается в результате теплоотвода энергии во внутренние слои металла. Нагрев осуществляется, как правило, без оплавления поверхности. В большинстве своем лазерная закалка дает стабильный прирост твердости на 3-4 единицы HRC по сравнению с максимальной твердостью, достигаемой на данной марке стали стандартными методами термообработки.

Эффективным методом повышения износостойкости деталей является лазерное модифицирование (наплавка) с одновременной закалкой поверхностного слоя. Поверхность, подлежащая обработке, покрывается слоем износостойкого материала, содержащего легирующие элементы. Луч сканируют по поверхности детали. Режим сканирования подбирается таким, чтобы температура в микрообъемах поверхности обеспечивала плавление обмазки (рис. 17).

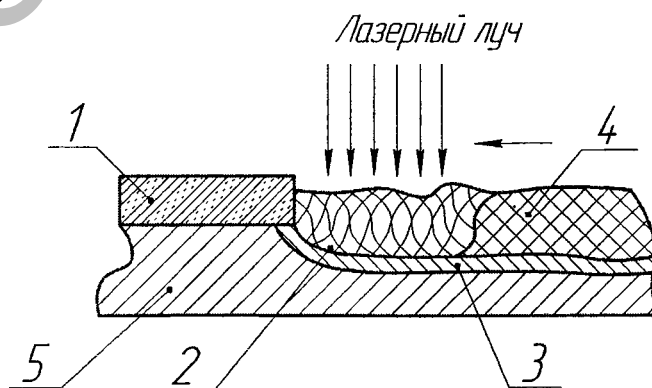


Рисунок 17. Схема лазерной наплавки: 1-обмазка (материал будущей наплавки); 2-расплав; 3-зона лазерной закалки; 4-наплавленный слой; 5-основной металл

Как видно из схемы лазерной наплавки (рис. 17), проплавляется весь поверхностный слой. В процессе плавления легирующие элементы внедряются в кристаллическую решетку материала детали. Возникает возможность внедрения в кристаллическую решетку даже такого элемента, с которым вещество детали вообще не может образовать твердого раствора. Такие метастабильные структуры, прочно связанные с основой, обладая сверхвысокой твердостью, обеспечивают резкое повышение износостойкости.

Высокая точность наведения лазерного луча к месту наплавки, локальность действия лазерного излучения позволяет упрочнять строго определенные участки деталей и получать тонкие слои покрытий (0,1...0,3 мм). Кратковременность протекания процесса (длительность импульса составляет несколько миллисекунд), а также точная дозировка энергии обеспечивает минимальные зоны термического влияния и отсутствие деформаций. Лазерная наплавка позволяет значительно снизить трудоемкость и себестоимость изготовления за счет исключения предварительного подогрева, последующей термообработки, снятия и нанесения хромистого покрытия, а также значительного уменьшения объема последующей механообработки.

В лаборатории лазерной обработки материалов ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» обоснованы материалы и оптимальные режимы упрочнения деталей сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок. Метод лазерного модифицирования был применен к сегментным ножам для уборки кукурузы, ножам свеклоуборочных комбайнов (рис. 18) и дискам сошников.

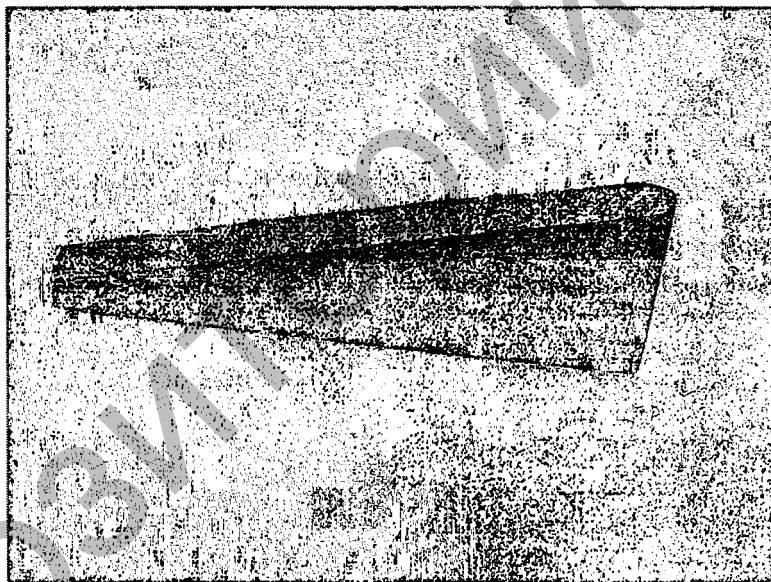


Рисунок 18. Упрочненный лазерным модифицированием нож свеклоуборочного комбайна КСН-6.

В ходе полевых испытаний ножей комбайна КСН-6 рабочие части неупрочненных ножей (свидетелей) дообрезки ботвы изнашивались полностью при наработке 130га. После чего изношенные ножи были заменены на новые. Износ второго комплекта на последующих 40га составил 1/3 от предельного. Износ упрочненных ножей при общей наработке 170га составил не более 1мм. (рис.19). Таким образом, результаты испытаний показывают, что упрочненные ножи могут иметь ресурс в 7-10 раз более высокий, чем неупрочненные. При этом отмечается, что качество обрезки ботвы, также было значительно выше

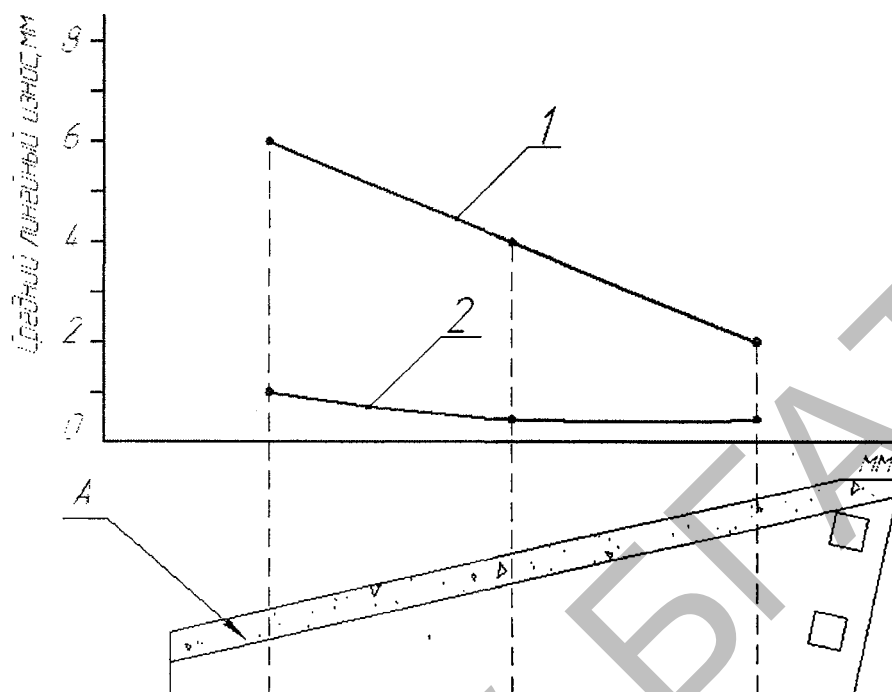


Рисунок 19. Износ ножей для дообрезки ботвы свеклоуборочного комбайна КСН-6:
1-неупрочненный нож (наработка 40 га); 2-упрочненный нож (наработка 170 га)
А- лазерное модифицирование поверхности

Для модифицирования поверхностей деталей рабочих органов могут также применяться плазменные технологии. Плазменно-порошковая наплавка (ППН) - механизированный процесс, при котором источником теплоты служит плазменная дуга, а присадочным материалом служат гранулированные металлические порошки, которые подаются в плазмотрон транспортирующим газом с помощью специального питателя (рис. 12).

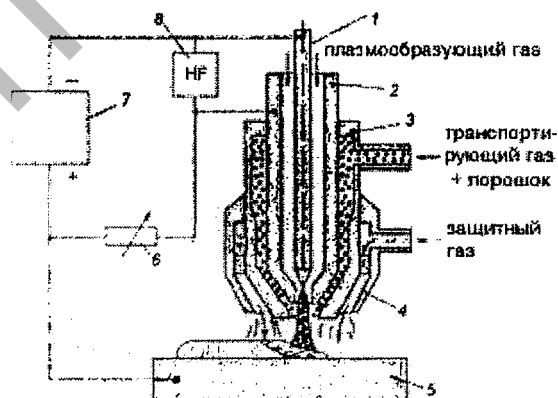


Рисунок 20. Схема плазменно-порошковой наплавки: 1-электрод;
2-плазменное сопло; 3-фокусирующее сопло; 4-защитное сопло; 5-деталь;
6-балластный реостат; 7-источник питания; 8-осциллятор

Благодаря возможности регулирования в широком диапазоне соотношения между тепловой мощностью дуги и подачей присадочного порошка ППН обеспечивает достаточно высокую производительность при минимальном проплавлении основного металла, что позволяет обеспечивать требуемую твердость и заданный химический состав наплавленного металла уже на расстоянии 0,3-0,5 мм от поверхности сплавления. Это дает возможность

ограничиться однослойной наплавкой там, где электродуговым способом необходимо наплавить 3-4 слоя.

Важной особенностью ППН является отличное формирование наплавленных валиков, стабильность и хорошая воспроизводимость их размеров. Установлено, что у 95% наплавленных деталей отклонение толщины наплавленного слоя от номинального размера не превышает 0,5мм. Это позволяет существенно сократить расход наплавочных материалов, время наплавки, а также затраты на механическую обработку наплавленных деталей.

Плазменная наплавка была применена для упрочнения лемехов свеклоуборочного комбайна КСН-6 (рис.21).

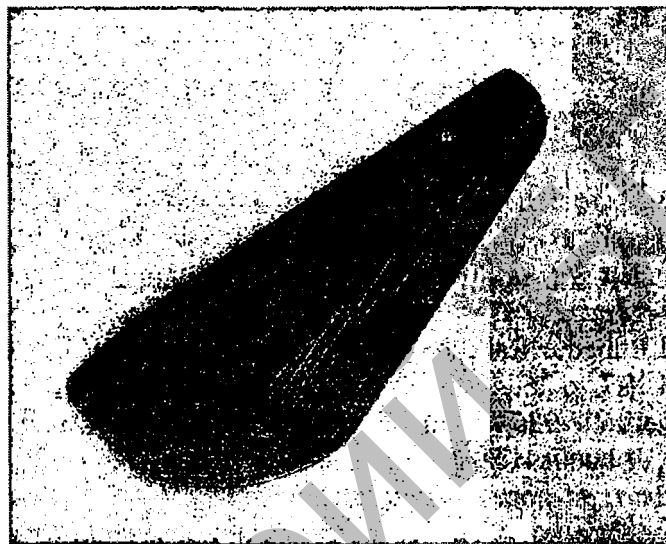


Рисунок 21. Лемех свеклоуборочного комбайна КСН-6.

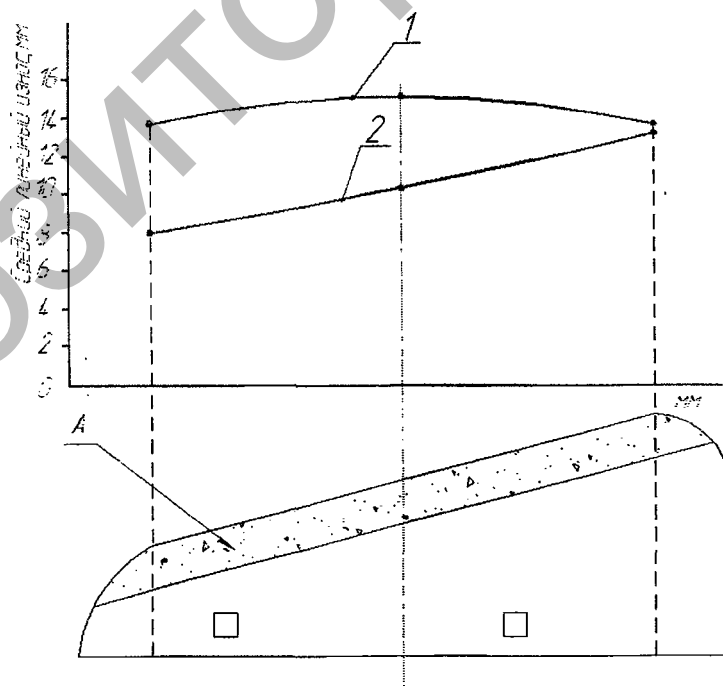


Рисунок 22. Износ лемехов свеклоуборочного комбайна КСН-6 (наработка 140 га)
1-неупрочненный лемех; 2-упрочненный лемех;
А- плазменное упрочнение поверхности

Плазменная наплавка обеспечивает высокую работоспособность деталей за счет отличного качества наплавленного металла, его однородности, а также благоприятной структуры, определяемой специфическими условиями кристаллизации металла сварочной ванны. На рисунке 22 представлена зависимость среднего линейного износа по длине не упрочненного и упрочненного лемехов при наработке 140га, из которого видно, что лемех, подвергнутый плазменной обработке, имеет почти в 2 раза более высокую износостойкость.

В целом можно заключить, что современные отечественные технологии и материалы, разрабатываемые научными центрами и апробированные в производственных условиях позволяют обеспечивать деталям нового поколения рабочих органов машин технический уровень, не уступающий лучшим мировым аналогам.

Литература

1. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995. – 336с.
2. Бетенья Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами. – Мн.: УО БГАТУ, 2003. – 188 с.
3. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. науч. трудов. Под ред. П.С. Гурченко. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 163с.
4. Conit, Rabid and Rabedur Rabewerk – Entwicklungen mit Höchster Materialqualität / Anbau – Drehpflüge/ 1994.№7, с. 26...27.
5. Landmaschinenwelt «97/98». Technische Anbeningen, Vorbehalten, 1997. – 181с.
6. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов. Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИТракторосельхозмаш, 1992. – 36 с. (сер. 2. Сельско-хозяйственные машины и орудия; вып. 3).
7. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль термических процессов на машиностроительных предприятиях. Сб. трудов под ред. П.С. Гурченко. – Мн.: РДУП «Издательство ОСПИ», 2005.-104 с.
8. Патент на изобретение № 223370. РФ. Рабочий орган почвообрабатывающих машин (варианты)/ Бетенья Г.Ф., Лобозов В.П. и др. М.: ФИПС, 2004.-24с.
9. Патент на полезную модель. № 1590. РБ. Изделие с самозатачивающемся биметаллическим почворезущим профилем/ Бетенья Г.Ф., Ивашко В.С. и др. Мн.: НЦИС, 2004.-3с.