

УДК 631.3.02:621.78.084

# ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИМПУЛЬСНОГО ЗАКАЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТЬЮ

**Г.Ф. Бегеня,**

*ведущ. науч. сотр. НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Г.И. Анискович,**

*доцент каф. ремонта тракторов, автомобилей и с.-х. машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**А.В. Ващула,**

*директор ГУ «Белорусская МИС», канд. техн. наук*

**В.А. Бубелев,**

*директор ОАО «КЗТШ», г. Жодино*

**Д.Г. Олиферчик,**

*заместитель директора ОАО «Брестский ЭМЗ»*

**В.М. Масалов,**

*директор ОАО «Витебский МРЗ»*

**А.В. Щерба,**

*директор ОАО «Минский Агросервис»*

**А.В. Кривцов,**

*директор частного предприятия «Фрос-М», канд. техн. наук*

*В статье приведены сведения о реализации технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью в производственных условиях и технологическом оснащении термических производств.*

*Ключевые слова: нагревательные печи, устройство закалочного охлаждения, технический модуль, ремонтная заготовка, твердость, микроструктура, ресурс*

*The article presents data on the implementation of the pulse quenching liquid cooling technology in a production environment and the technological equipment of thermal plants.*

*Keywords: heating furnaces, quenching cooling device, a technical module, repair billet, hardness, microstructure, resource.*

## Введение

Современный этап перевода экономики металлопотребляющих производств (сельхозмашиностроение, ремонтно-обслуживающие предприятия АПК) на инновационный путь развития требует проведения их глубокой технологической модернизации. В наибольшей мере это касается термических производств [1-3]. До настоящего времени на этих производствах преобладали традиционные закалочные методы (закалка с охлаждением стальных заготовок погружением в воду или масло). На протяжении многих десятилетий в совершенствование технологии закалочного охлаждения не вносилось сколь заметных новшеств, направленных на повышение качества и конкурентности металлопродукции, упрочняемой закалкой.

Актуальность проведения широкомасштабной технологической модернизации термических производств подтверждается назревшей необходимостью освоения отечественного наукоемкого производства сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (ДРОМ), не уступающих по техническому уровню лучшим мировым аналогам. Она должна сопровождаться сменой традиционных подходов на применение новых конструкционных сталей повышенной эксплуатационной надежности, при производстве и упрочнении которых реализуются элементы нанотехнологий [4-7]. Ресурсы повышения физико-механических и эксплуатационных свойств традиционными подходами (легирование, химико-термическая обработка, традиционная закалка охлаждением, погружением в охлаждающую среду и дру-

гие методы без существенного изменения размера характерного структурного элемента) по сути исчерпаны. Это стимулирует разработку научных направлений с использованием элементов нанотехнологий для решения проблемы на основе одновременного сочетания высокой прочности, твердости, вязкости, пластичности и износостойкости [8, 9].

К настоящему времени отставание в области производства сменных ДРОМ, не уступающих по техническому уровню зарубежным аналогам, сокращается. Примером технического решения проблемы освоения отечественного производства конкурентоспособной продукции (сменных ДРОМ) является использование технических решений [10-12] и технологии импульсного закалочного охлаждения потоком воды или водного раствора кальцинированной соды (ТИЗОЖ) [4, 13, 14]. Данная технология является свидетельством актуальности и научной новизны технических решений применительно к сменным деталям рабочих органов сельскохозяйственной техники, созданных специалистами БГАТУ. Она прошла проверку в производственных условиях уже на целом ряде предприятий республики [14]. ТИЗОЖ является объектом конструкторской [11, 12] и опытно-технологической разработки [14] с высокой степенью завершенности.

Отечественная технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ) обладает патентной чистотой и защищенностью [10,11,12], энерго- ресурсо- и природосберегающей, высокой производительностью (около 60 изделий в час и лимитируется пропускной способностью нагревательной печи). Основным классификационным признаком ТИЗОЖ является отнесение ее к нанотехнологии, так как с ее реализацией при заданных режимах и их параметрах [13, 14] в изделиях из конструкционной стали формируется наноструктурированное состояние [15], характеризующееся размером характерного структурного элемента в диапазоне 30...80 нм. В зарубежной практике аналогом такого технического решения наиболее распространенной является технология под названием «Conit» (интеллектуальная собственность норвежской фирмы «Kverneland»). В работе сообщается о получении стальных заготовок с размером структурных элементов не более 40 нм. О разработках наноструктурированных конструкционных материалов сообщается в статье [16].

Цель настоящей работы – предоставление информации и ознакомление технологов предприятий с возможностями ТИЗОЖ и новыми материалами для изготовления сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин. Данная научная разработка является предпосылкой ускорению технологического трансфера и расширению рынков сбыта новой наукоемкой продукции. Она служит преодолению зависимости от импорта комплектующих, необходимых для замены изношенных сменных ДРОМ.

#### **Основная часть**

По аналогии с традиционными методами термической обработки, ТИЗОЖ включает в себя три основных

этапа: нагрев, изотермическую выдержку, охлаждение заготовок в заданных параметрах этого режима.

В производственных условиях для нагрева стальных ремонтных заготовок (РЗ) используются печи сопротивления камерного типа. Для мелких РЗ (долото, нож измельчителя, нож косилки) применяются нагревательные печи типа ПКМ 3.6.2/11 мощностью 12 кВт. РЗ среднего размера (диск сошника, грудь отвала, стрелчатая лапа) рекомендуется нагревать в печах типа СНО 4.8.3/11. Мощность такой печи составляет – 18 кВт. Для нагрева крупных РЗ (диски лущильников и дискаторов, полевые доски, лемехи) в производственных условиях апробированы нагревательные печи типа СНО 8.8.4/11. Мощность этого типа печей может составлять 35 – 70 кВт.

Число нагревательных печей (n) с учетом размеров (толщина ДРОМ составляет 4 -14 мм) и массы РЗ рекомендуется уточнять из следующего соотношения:

$$n = \frac{M_{зм} \cdot t_{np}}{m_1 \cdot \Phi_{од} \cdot \eta_3 \cdot \eta_u},$$

где  $M_{зм}$  – годовая производственная программа, т;

$t_{np}$  – продолжительность нагрева одной садки РЗ, ч;

$m_1$  – масса РЗ одной садки, т (принимается с учетом паспортных данных нагревательного оборудования и рекомендуется в размере – 1 кг на 1кВт мощности печи);

$\Phi_{од}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования при принятой сменности его использования;

$\eta_3$  – коэффициент, учитывающий загрузку оборудования по массе в зависимости от габаритов и конфигурации РЗ (рекомендуется принимать  $\eta_3$  в пределах 0,95 – 1,05);

$\eta_u$  – коэффициент, характеризующий использование печи по времени (рекомендуется принимать численное значение  $\eta_u$  в размере – 0,85- 0,95).

На производственных термических участках используются нагревательные печи типа ПКМ, СНО, СНОЛ. Они комплектуются микропроцессорными контроллерами, точность выдержки температуры нагрева РЗ составляет в диапазоне  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

В соответствии с технологической схемой ТИЗОЖ [4], нагретая до температуры аустенитизации (выдержка около 10 мин) стальная ремонтная заготовка, устанавливается в устройство закалочного охлаждения (УЗО) и фиксируется.

После этого, в зазоры между РЗ и ограждающими поверхностями, формируемыми матрицей и пуансоном УЗО, подается быстро движущийся (около 30-35м/с) поток охлаждающей жидкости. Температура и скорость потока ОЖ задается в определенном интервале. В производственных условиях апробирован ряд сменных УЗО (к настоящему времени разработано около 20 типов конструкций УЗО). Они имеют, как

правило, индивидуальное назначение [12]. Основными конструктивными элементами УЗО являются матрица и пуансон. Для сложнопрофильных РЗ (лемех, сферический диск и др.) матрица и пуансон изготавливаются на копировально-фрезерных станках с ЧПУ по чертежам, выполненным в трехмерном изображении. Примером такого УЗО является устройство для закалки дисков (рис. 1). Для фиксации УЗО нашли приме-

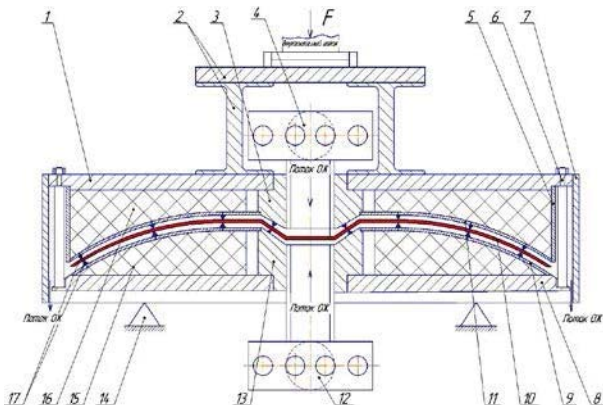


Рисунок 1. Принципиальная схема устройства закалочного охлаждения дисков: 1 – плита верхняя; 2 – фланец; 3 – вставка верхняя; 4 – коллектор верхний; 5 – кожух внутренний; 6 – упор; 7 – кожух наружный; 8 – плита нижняя; 9 – матрица; 10 – заготовка диска; 11 – пуансон; 12 – коллектор нижний; 13 – вставка нижняя; 14 – опора; 15 – плита монтажная нижняя; 16 – плита монтажная верхняя; 17 – фиксатор

нение винтовые устройства, а также пневматические и гидравлические приводы. УЗО разрабатывается для каждого типоразмера и формы деталей индивидуально. Оно является сменяемым блоком технологического модуля (ТМ).

Принципиальная схема ТМ представлена на рис. 2. Функционирование взаимосвязанных технических

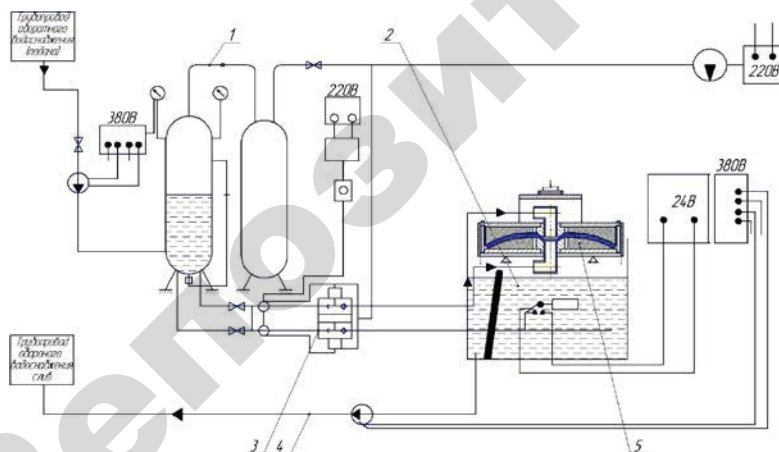


Рисунок 2. Принципиальная схема охлаждения РЗ при реализации ТИЗОЖ:

1 – блок управления расходом охлаждающей жидкости; 2 – блок управления отводом охлаждающей жидкости; 3 – система управления подачей охлаждающей жидкости; 4 – система обратного водоснабжения; 5 – закалочное устройство

систем ТМ позволяет охлаждать детали при их закалке с учетом требуемой критической скорости охлаждения, регламентируемой для данной марки стали. Скорость охлаждения РЗ с использованием ТМ обеспечивается в диапазоне от 400 °С/с до 5000 °С/с и более. Продолжительность цикла охлаждения изменяется в зависимости от формы, марки материала РЗ и требований, предъявляемых к детали в эксплуатации. Она не превышает 3-5 с (устанавливается с помощью реле времени с интервалом регулирования 0,1 с).

ТМ для реализации ТИЗОЖ состоит из комплектующих отечественного производства. В производственных условиях реализованы два варианта ТМ. В одном случае работа ТМ осуществляется с использованием системы оборотного водоснабжения предприятия (реализовано на ОАО «КЗТШ» и ОАО «Дрогичинский ТРЗ»). Второй вариант ТМ базируется на применении автономной системы водоснабжения. В этом случае создаются отдельные емкости для воды объемом от 5 до 15 м<sup>3</sup>. ОЖ циркулирует по замкнутому контуру (реализовано на ОАО «Минский Агросервис», ОАО «Витебский МРЗ», ПРУП «МЗШ», ТНЦ БГАТУ, ОАО «БЭМЗ»).

С учетом накопленного опыта использования ТИЗОЖ в производственных условиях, установлено, что температура ОЖ на входе в УЗО может находиться в интервале 278 – 303 К. При удельном расходе ОЖ не менее 200 л/с<sup>2</sup> и в случае двухстороннего охлаждения РЗ, температура ОЖ на выходе из УЗО повышается, не более 10 К. Это не приводит к ухудшению условий труда. С помощью блока управления расходом ОЖ в конструкции ТМ обеспечиваются условия реализации самоотпуска РЗ.

Твердость закаленной поверхности РЗ достигается при соблюдении основного параметра закалочного устройства – расхода охлаждающей жидкости (воды) в интервале ее подогрева ( $\Delta t$ ) от 5 °С до 15 °С при охлаждении заготовки в потоке воды. Изменение расхода ( $Q$ , л) охлаждающей жидкости для указанных условий охлаждения заготовок из стали 60ПП, 30ХГСА представлено графически на рис. 3.

Плотность орошения является одним из параметров ТИЗОЖ. В каждом конкретном варианте применения ТИЗОЖ следует уточнять плотность орошения  $Q$  стальной РЗ площадью внешней охлаждаемой поверхности  $S_1$  из соотношения

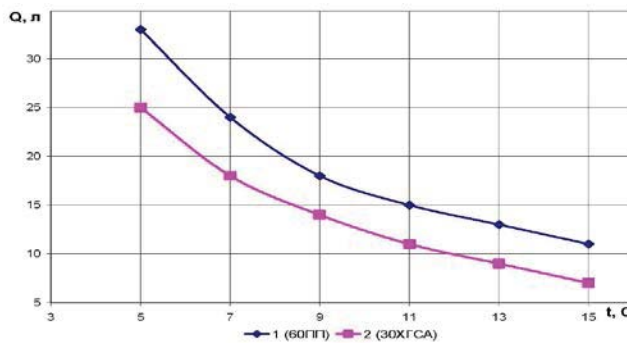
$$Q = \frac{M_1}{S_1 \cdot \tau_o},$$

где  $M_1$  – объем охлаждающей жидкости на охлаждение одной стальной РЗ, л;

$\tau_o$  – продолжительность цикла охлаждения, с

Расчетные численные значения параметра  $Q$  должны быть не менее 200 л/м<sup>2</sup> · с.





**Рисунок 3.** Изменение расхода охлаждающей жидкости ( $Q$ , л) в зависимости от температуры ее нагрева при охлаждении стальной заготовки толщиной 8 мм (масса 1 кг) в потоке воды при избыточном давлении – 0,40 МПа:  
1 – заготовка из стали 60ГП; 2 – заготовка из стали 30ХГСА

ТИЗОЖ является опытно-конструкторской и опытно-технологической разработкой с высокой степенью завершенности. Она реализована на ряде предприятий Минпрома Республики Беларусь и РО «Белагросервис»:

- ОАО «КЗТШ» (г. Жодино) при производстве лемехов (рис. 4а);
- РУП «МЗШ» при производстве долот (рис. 4г);
- ОАО «БЭМЗ» при производстве дисков и других деталей (рис. 4ж, и);
- ТНПЦ БГАТУ при закалке (рис. 4) номенклатуры сменных ДРОМ;
- ОАО «Дрогичинский ТРЗ» при производстве долот (рис. 4б).

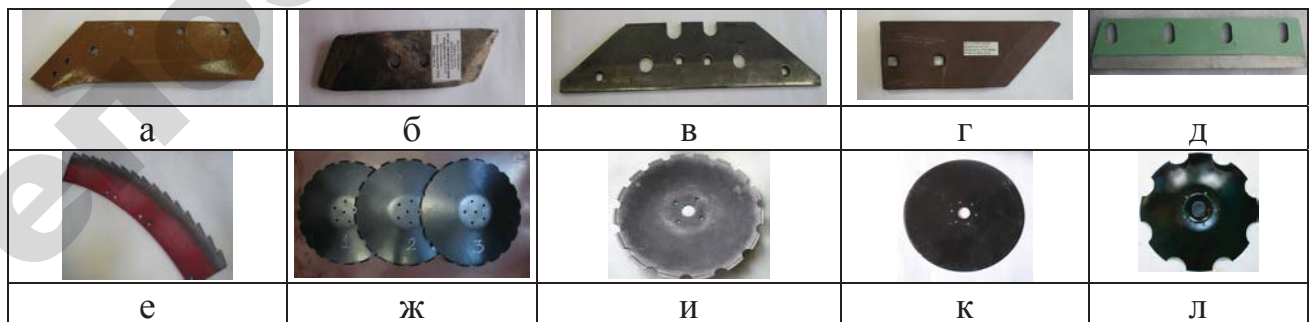
Совместно с КУПП «Березарайагросервис» освоено изготовление ножей измельчителей кормоуборочных комбайнов «Ягуар-840» (рис. 4д). В настоящее время осуществляется авторский надзор и сопровождение работ по освоению ТИЗОЖ на ОАО «Минский Агросервис» при изготовлении дисков сеялок, ножей роторных косилок, ножей измельчающих аппаратов, ножей жаток кормоуборочных комбайнов, полевых досок и других деталей (рис. 4в, е), на ОАО «Витебский МРЗ» при производстве дисков дискаторов, дисков сошников сеялок (рис. 4к, л). В 2014-2015 годах освоено изготовление продукции этими предприятиями с использованием ТИЗОЖ на сумму 6,23 млрд руб.

Предприятия, освоившие реализацию ТИЗОЖ, используют ее для импульсной закалки сменных ДРОМ. На рис. 5 представлен общий вид термического участка ТИЗОЖ, введенного в эксплуатацию в 2014 году на ОАО «Витебский МРЗ» и используемого для импульсной закалки дисков дискаторов, сошников дисков сеялок, а также для дальнейшего расширения номенклатуры сменных ДРОМ.

Число потребителей технологии ТИЗОЖ для упрочнения сменных ДРОМ ежегодно увеличивается. В настоящее время ведутся поисковые работы по упрочнению дисков роторов и башмаков брусев косилок с использованием ТИЗОЖ совместно с Холдинговой компанией «Бобруйскагромаш». При этом следует отметить, что объект разработки (диск ротора) является не только сложным в геометрическом исполнении изделием, но и состоящим из трех различных конструкционных материалов (сталь 25ХГСА, сталь 35 и сварных валиков). Данная разработка относится к разряду пионерных. Она прошла апробацию на МТБ БГАТУ, в результате которой впервые в практике термического производства реализована одна из сложных технических задач сельхозмашиностроения – закалка сварных пространственно сложных тонкостенных стальных заготовок.

ТИЗОЖ является отечественной технологией. Для ее реализации используется отечественное оборудование, что значительно сокращает сроки освоения и расходы на техническое перевооружение действующих и вновь создаваемых термических производств. С ее использованием обеспечивается высокое качество изделий, надежность и стабильность закалочного процесса. Применение легко сменяемых УЗО в составе ТМ позволяет быстро переходить на закалку деталей другой конструкции и размеров, что в свою очередь обеспечивает гибкость и экономичность производства.

Сменные ДРОМ, изготовленные с применением ТИЗОЖ, характеризуются высокой работоспособностью [13-15], без использования дорогостоящих легированных сталей. В упрочненных деталях из стали 55 ПП и 60 ПП при достаточно высокой твердости (56...62 HRC) и прочности ( $\sigma_g$  - более 2000 МПа) сохраняется повышенная ударная вязкость (КСУ – не менее 0,6 МДж/м<sup>2</sup>). Ресурс сменных ДРОМ нового поколения в два и более раз выше по сравнению с изделиями, изготовлен-



**Рисунок 4.** Сменные ДРОМ, изготовленные с применением ТИЗОЖ на предприятиях:  
а – ОАО «КЗТШ» (г. Жодино); б – ОАО «Дрогичинский ТРЗ»; в, е – ОАО «Минский Агросервис»; г – РУП «МЗШ»; д – КУПП «Березарайагросервис»; ж, и – ОАО «БЭМЗ»; к, л – ОАО «Витебский МРЗ»



Рисунок 5. Общий вид участка ТИЗОЖ

ными по традиционной технологии с использованием стали 65 Г. В зарубежной практике такими свойствами обладают сменные ДРОМ, изготовленные из легированных сталей.

Сменные ДРОМ, упрочненные с использованием ТИЗОЖ систематически проходят приемочные испытания на объектах ГУ «Белорусская МИС». На рис. 6 представлен дискатор АД-6 «Рубин-600», испытываемый в эксплуатационных условиях и укомплектованный дисками, упрочненными в условиях ОАО «Витебский МРЗ».



Рисунок 6. Испытания дисков в эксплуатационных условиях

Оценка ресурса изделий проводилась согласно СТБ 1616-2011. Соответствие техническим требованиям к устойчивости деталей к абразивному изнашиванию и пластической деформации изделий обеспечивалось согласно ТКП 572-2015 [17]. В основу анализа повышения надежности и долговечности упрочненных изделий положен структурный подход, изложенный в монографии [18]. Для оценки напряженного состояния изделий учитывались результаты работы [19].

В ходе приемочных испытаний сферических дисков установлены следующие показатели. Численные значения твердости (HRC) материала испытываемых дисков находятся в интервале 50 – 52 HRC (495 – 514 HB).

Численные значения прочности ( $\sigma_g$ ) материала испытываемых дисков дискаторов определены аналитически с учетом корреляционной связи [20] между времен-

ным сопротивлением и числом твердости (HB) из соотношения  $\sigma_g = 3,4 \cdot HB$  и составили – 1683-1748 МПа. Это превышает норматив, регламентированный [17].

Численные значения ударной вязкости (КСУ) материала испытываемых дисков находятся в интервале – 61,8-85,6 Дж/см<sup>2</sup>. Интенсивность абразивного изнашивания материала дисков, отнесенная к площади трения – 1 см<sup>2</sup>, составляла – 18,94 г/га. При запасе на линейный (массовый) износ до диаметра – 540 мм (около 80-85 мм по диаметру) или по массе – 1550-1650 г, ресурс дисков составляет примерно – 40,9-43,5 га.

В табл. 1 приведены результаты испытаний дисков и их оценка согласно установленным нормативам, регламентированным СТБ1616-2011 и ТКП 572-2015.

Основным конкурентным преимуществом сменных ДРОМ, полученных с применением ТИЗОЖ, является их наноструктурное строение с размером характерного структурного элемента в диапазоне около 30...80 нм. Формирование наноструктурного состояния изделий обеспечивается с использованием нелегированных конструкционных сталей. Это выгодно их отличает в сравнении с зарубежными изделиями, изготовленными из боросодержащих мало- и среднеуглеродистых сталей с легирующими добавками молибдена, титана и других элементов.

Изучение микроструктурного строения упрочненных деталей (сталь 60ПП) показало, что в поверхностном слое (рис. 6а) образовалась микроструктура весьма мелко игольчатого мартенсита. По оценке металлографическим методом [21] наибольшая длина его игл составляет до 1 мкм.

При увеличении соответственно х50 000 и х80 000 (рис. 7) выявлена фрагментация (дробление) мартенситных пластин. Их размер в поперечном сечении составляет – 50-100 нм, а размер фасеток отдельных пластин мартенсита находится в пределах – 20- 80 нм.

На отдельных фрагментах проявляются очертания субмикрозерен. Края мартенситных пластин и фрагментов частично размыты, что говорит об их аморфно-кристаллическом состоянии.

Снимки микроструктуры троостита в сердцевине плоского образца (рис. 5б) также свидетельствуют о его дисперсности [21]. В поперечном сечении размеры фрагментов троостита составляют 20-60 нм, а длина трооститных пластин находится в пределах – 120-500 нм (табл. 2).

Таблица 1. Результаты испытаний материала (сталь 35) сферических дисков (диаметр – 620 мм)

| Показатели                | HRC (HB)        | $\sigma_g$ , МПа | КСУ, Дж/см <sup>2</sup> | $\epsilon$      | Ресурс, га  |
|---------------------------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------|-------------|
| Результаты испытаний      | 50-52 (495-514) | 1683-1748        | 61,8-85,6               | 2,7             | 40,9-43,5   |
| Норматив: по ТКП 572-2015 | не менее 50     | не менее 1500    | не менее 60             | для эталона 1,0 | -           |
| по СТБ 1616-2011          | -               | -                | -                       | -               | не менее 40 |



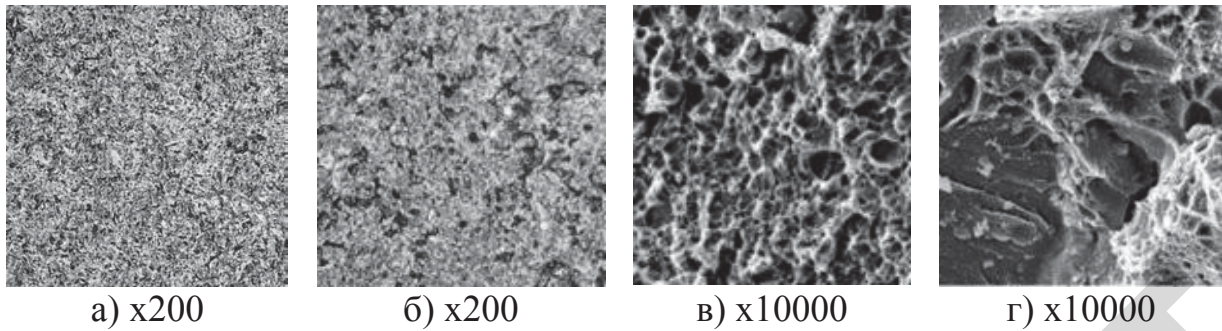


Рисунок 6. Микроструктура внешних поверхностей (а) и сердцевины (б) и морфология ячеистого излома образца, испытанного на ударный изгиб ( в-наружного слоя; г – сердцевины)

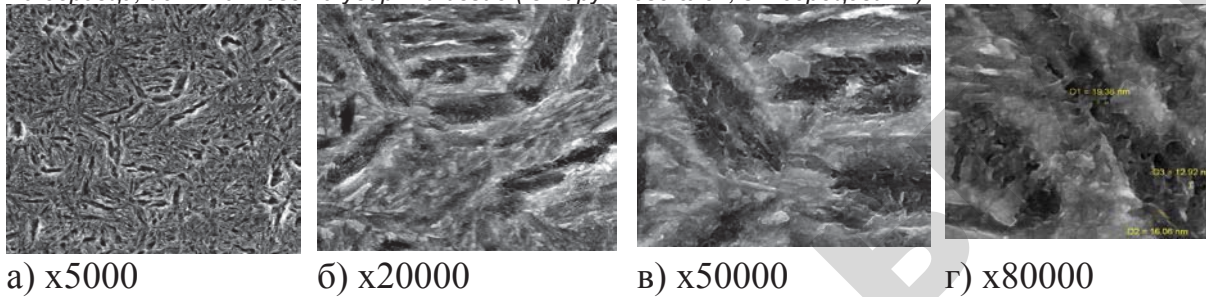


Рисунок 7. Микроструктура упрочненного слоя образца стали 60ПП толщиной 8 мм после импульсного закалочного охлаждения водой и низкого отпуска

Статистические данные по средней длине фрагментов мартенситных пластин стали 60ПП после упрочнения рабочей поверхности деталей толщиной 6 – 12мм показали, что размер 80 % фрагментов находится в диапазоне – 0,02 – 0,08 мкм. (табл. 2). После низкого отпуска при 180°C размер фрагментов изменяется незначительно, 60 % составляют фрагменты зерен мартенсита размерами – 0,02 – 0,06 мкм.

Реализованные в производственных условиях новые материалы и ТИЗОЖ позволили обеспечить в изделиях сочетание требуемой прочности, надежности, долговечности и износостойкости [22] сменных ДРОМ, отвечающих требованиям изделий нового поколения.

Сменные ДРОМ определяют технический уровень машины в целом. Сменные ДРОМ являются дорогостоящими изделиями. Так, например, цена од-

ного импортного комплекта дисков (48 шт.) на один дискатор составляет от 20,0 млн руб. до 30 млн руб., цена одного комплекта ножей (24 шт.) измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна «Ягуар-840» составляет от 20,0 млн руб., цена одного комплекта сменных деталей (лемех, долото, полевая доска, грудь и крыло отвала) к корпусу плуга составляет 1,2 млн руб.

За срок службы, например, почвообрабатывающих машин, с учетом многократной замены сменных ДРОМ, затраты на эти цели превышают первоначальную стоимость сельскохозяйственного орудия. Снижение этих расходов – одна из ключевых задач экономики государства.

### Заключение

1. Результаты практической реализации ТИЗОЖ рядом предприятий республики за последние 5-7 лет свидетельствуют о соответствии этого метода производственным условиям упрочнения сменных ДРОМ по показателям качества, производительности и экономической эффективности. Данная технология успешно реализуется как на ремонтных предприятиях АПК, так и на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения.

2. ТИЗОЖ относится к группе высокоинтенсивных процессов термического воздействия ОЖ на высокотемпературную стальную заготовку при ее охлаждении, обладает коммерческой перспективой, и на современном этапе совершенствования термического производства является одним из самых эффективных методов модификации свойств сменных ДРОМ нового поколения.

3. ТИЗОЖ является отечественной разработкой,

**Таблица 2. Разбиение на классы по длине фрагментов в мартенситных пластинах детали из стали 60ПП после низкого отпуска**

| Класс | Количество, шт. | Интервал, мкм | Доля по количеству, % | Доля по массе, % |
|-------|-----------------|---------------|-----------------------|------------------|
| 1     | 0               | 0 – 0,02      | 0                     | 0                |
| 2     | 2               | 0,02 – 0,04   | 3,08                  | 1,14             |
| 3     | 29              | 0,04 – 0,06   | 44,62                 | 30,08            |
| 4     | 26              | 0,06 – 0,08   | 40                    | 45,04            |
| 5     | 7               | 0,08 – 0,1    | 10,77                 | 20,88            |
| 6     | 1               | 0,1 – 0,12    | 1,54                  | 2,85             |
| 7     | 0               | 0,12 – 0,14   | 0                     | 0                |
| 8     | 0               | 0,14 – 0,16   | 0                     | 0                |
| 9     | 0               | 0,16 – 0,18   | 0                     | 0                |
| 10    | 0               | 0,18 – 0,2    | 0                     | 0                |

она обладает патентной чистотой и защищенностью, относится к числу энерго-ресурсо и природосберегающих, а также высокопроизводительных технологий. Она реализуется с применением технологического оборудования отечественного производства. Занимаемая площадь производственного помещения составляет 54-72 м<sup>2</sup>.

4. Классификационным признаком ТИЗОЖ является ее отнесение к нанотехнологиям, так как с ее реализацией при заданных режимах и их параметрах в заготовках из конструкционной стали формируется наноструктурированное состояние с размером характерного структурного элемента в диапазоне – 30-80 нм.

5. Совершенствование термических производств на основе использования ТИЗОЖ соответствует инновационному пути развития через технологическую модернизацию их базы, что позволяет производить экспортоориентированную продукцию (сменные ДРОМ и другие детали нового поколения).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. – М.: Наука и технологии, 2004. – Т. 1. – 392 с.

2. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. – М.: Наука и технологии, 2004. – Т. 1. – 608 с.

3. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. – М.: Наука и технологии, 2004. – Т.1. – 704 с.

4. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И. Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с.

5. Наноструктурные материалы: получение, свойства, применение /под ред. академика П.А. Витязя. – Минск: Беларуская навука, 2009. – 370 с.

6. Горынин, И.В. Экономнолегированные стали с наномодифицированной структурой для эксплуатации в экстремальных условиях / И. В. Горынин [и др.] // Вопросы материаловедения, 2008. – №22. – С. 7-19.

7. Панин, В. Е. Физическая мезомеханика и неравновесная термодинамика как методологическая основа наноматериаловедения / В. Е. Панин, В. Е. Егорушкин // Физическая мезомеханика, 2009. – №12. – С. 7-26.

8. Бетень, Г.Ф. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью / Г.Ф. Бетень, Г.И. Анискович. – MOTOROL/ Lublin-Pzeszow, 2013, vol. 15. – №7. – С. 80-86.

9. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетень, Г.И. Анискович, А.И. Гордиенко, В.С. Голубев, А.Н. Давидович // Сборник докладов 12

Межд. науч.-техн. конф., 10-12 сентября 2012 г., Углич. – М.: Известия, 2012. – С. 219-228.

10. Рабочий орган почвообрабатывающих машин (варианты): патент 7466 Респ. Беларусь / В.Н. Дашков, И.И. Хилько, Г.Ф. Бетень [и др.]; дата публ.: 28.06.2005.

11. Технологический модуль для закалки деталей: патент 2139 Респ. Беларусь / Г.Ф. Бетень [и др.]; дата публ.: 16.05.2005.

12. Закалочное устройство для быстрого охлаждения тонкостенных заготовок: патент 19291 Респ. Беларусь / Г.Ф. Бетень [и др.]; дата публ.: 2015.

13. Бетень, Г.Ф. Упрочнение деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин в условиях импульсного закалочного охлаждения / Г.Ф.Бетень, А.В. Кривцов //Агропанорама, 2015. – №3. – С. 15-19.

14. Бетень, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью / Г.Ф.Бетень, Г.И. Анискович // Вестник БарГУ, 2013. – Вып. 1. – С. 152-159.

15. Бетень, Г.Ф. Объемные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники / Г.Ф. Бетень [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета, 2012. – №3, серия В: Промышленность. Прикладные науки. – С. 46-51.

16. Горынин, И. В. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области конструктивных наноматериалов / И. В. Горынин // Российские нанотехнологии, 2007. – № 3-4. – С. 36-57.

17. Детали сельскохозяйственных машин, подвергающиеся интенсивному износу. Требования к параметрам устойчивости к абразивному, ударно-абразивному изнашиванию и пластической деформации: ТКП 572-2015 (33170). – Минск: Минсельхозпрод, 2015.

18. Тушинский, Л. И. Структурная теория конструкционной прочности материалов: монография / Л.И. Тушинский. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 400 с.

19. Игнатьков, Д.А. Приближенная оценка напряженного состояния лезвийной части сферического диска дискатора / Д.А. Игнатьков, А.В. Ващула, Г.Ф. Бетень // Вестник БарГУ, 2015. – Вып. 3. – С. 62-68.

20. Материаловедение: учеб. для вузов / Б. А. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. – 648 с.

21. Сталь. Эталоны микроструктуры: ГОСТ 8233-56. – Введ. 1957-07.01. – М.: изд-во стандартов, 1960. – 4 с.

22. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы: ГОСТ 23.208-79. – М.: изд-во стандартов. – 8 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.04.2016