

Анискович Г. И.,

Литовчик Д. П.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: tnpc-bgatu@mail.ru

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИМПУЛЬСНОГО ЗАКАЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТЬЮ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

УДК 631.3.02:621.78.084

В статье приведены сведения о реализации технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью в производственных условиях, технологическом оснащении термических производств, структуре и механических свойствах упрочненных деталей.

Ключевые слова: термическое производство, сменные детали, закалочное охлаждение, структурное строение, микротвердость, прочность, ударная вязкость, износостойкость.

Актуальность проблемы

Освоение отечественного наукоемкого производства сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (ДРОМ), не уступающих по техническому уровню лучшим мировым аналогам, является актуальной задачей, решение которой обуславливается необходимостью проведения широкомасштабной технологической модернизации термических производств [1,2,3]. 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 совершенствовании технологии закалочного охлаждения не вносилось сколь заметных новшеств, направленных на повышение качества и конкурентности металлопродукции, упрочняемой закалкой.

Модернизация должна сопровождаться сменой традиционных подходов на применение новых конструкционных сталей повышенной эксплуатационной надежности, при производстве и упрочнении которых реализуются элементы нанотехнологий [4,5,6,7,]. Ресурсы повышения физико-механических и эксплуатационных свойств традиционными подходами (легирование, химико-термическая обработка, традиционная закалка охлаждением погружением в охлаждающую среду и другие 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]

Анализ последних публикаций по данной проблеме

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 [10,11,12] 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.

Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ) является

отечественной, 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 её к нанотехнологии, так как с её 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») [16]. В работе [17] сообщается о получении стальных заготовок с размером структурных элементов не более 40нм. О разработках наноструктурированных конструкционных материалов сообщается в статье [18].

Технологическое оснащение и параметры режимов импульсного закалочного охлаждения жидкостью

По аналогии с традиционными методами термической обработки ТИЗОЖ включает три основных этапа: нагрев; изотермическую выдержку; охлаждение заготовок в заданных параметрах этого режима.

В производственных условиях для нагрева стальных 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 луцильников 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:

$$n = \frac{M_{зм} \cdot t_{np}}{m_1 \cdot \Phi_{од} \cdot \eta_3 \cdot \eta_u}, \quad (1)$$

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 1кг на 1кВт мощности печи);

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

η_3 - коэффициент, учитывающий загрузку оборудования по массе в зависимости от габаритов и конфигурации РЗ (рекомендуется принимать η_3 в пределах 0,95 – 1,05);

η_u - коэффициент, характеризующий использование печи по времени (рекомендуется принимать численное значение η_u равным 0,85 – 0,95).

На производственных термических участках используются нагревательные печи типа ПКМ, СНО, СНОL. Они комплектуются микропроцессорными контроллерами, точность выдержки температуры нагрева РЗ составляет в диапазоне ± 2 °С.

В соответствии с технологической схемой ТИЗОЖ [4], нагретая до температуры аустенитизации и выдержка (около 10 мин) стальная ремонтная заготовка (РЗ) 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 30-35 м/с) поток охлаждающей жидкости (ОЖ). 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 применение винтовые устройства, а также пневматические и гидравлические приводы. УЗО разрабатывается для каждого типоразмера и формы деталей индивидуально. Оно является сменяемым блоком технологического модуля (ТМ).

Функционирование взаимосвязанных технических систем ТМ [8,11] 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).

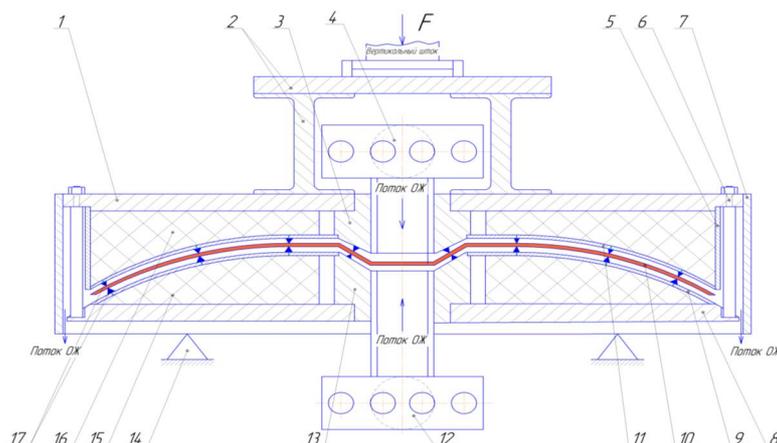


Рис.1. Принципиальная схема устройства закалочного охлаждения дисков: 1-плита верхняя; 2-фланец; 3-вставка верхняя; 4-коллектор верхний; 5-кожух внутренний; 6-упор; 7-кожух наружный; 8-плита нижняя; 9-матрица; 10-заготовка диска; 11-пуансон; 12-коллектор нижний; 13-вставка нижняя; 14-опора; 15-плита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

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 м³. ОЖ циркулирует по замкнутому контуру (реализовано на ОАО «Минский Агросервис», ОАО «Витебский МРЗ», ПРУП «МЗШ», ТНПЦ 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/см² и в случае двухстороннего охлаждения РЗ, температура ОЖ на выходе из УЗО повышается не более 10К. 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 её подогрева (Δt) 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 (рис. 2).

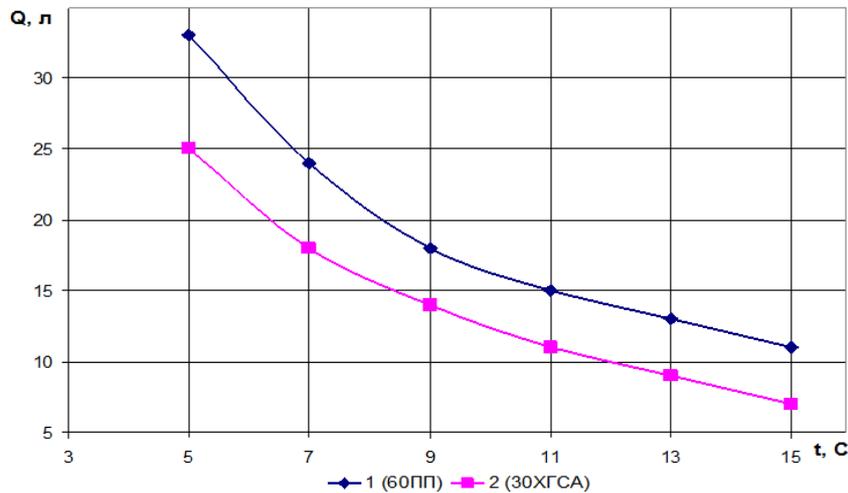


Рис. 2. Изменение расхода охлаждающей жидкости (Q , л) в зависимости от температуры её нагрева при охлаждении стальной заготовки толщиной 8мм (масса 1 кг.) в потоке воды при избыточном давлении 0,40 МПа: 1 – заготовка из стали 60ПП; 2 – заготовка из стали 30ХГСА

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:

$$Q = \frac{M_1}{S_1 \cdot \tau_o} \quad (2)$$

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

τ_o - продолжительность цикла охлаждения, с.

Расчетные численные значения параметра Q должны быть не менее 200 л/м²·с.

Освоение технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью при упрочнении сменных деталей сельскохозяйственных машин

ТИЗОЖ является опытно-конструкторской и опытно-технологической работой с высокой степенью завершенности. Она реализована на ряде предприятий Минпрома РБ и РО «Белагросервис»: на ОАО «КЗТШ» (г. Жодино) при производстве лемехов (рис.3а), на РУП «МЗШ» при производстве долот (рис.3г), на ОАО «БЭМЗ» при производстве дисков и других деталей (рис. 3 ж, и), на ТНПЦ БГАТУ при закалке представленной на рис. 3 номенклатуры сменных ДРОМ, на ОАО «Дрогичинский ТРЗ» при производстве долот (рис. 3 б). Совместно с КУПП «Березарайагросервис» освоено изготовление ножей измельчителей кормоуборочных комбайнов «Ягуар-840» (рис. 3 д). 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. 3 в, е), на ОАО «Витебский МРЗ» при производстве дисков дискаторов, дисков сошников сеялок (рис. 3 к, л). В 2014-2015 г.г. освоено изготовление продукции этими предприятиями с использованием ТИЗОЖ на сумму 6,23 млрд. рублей.

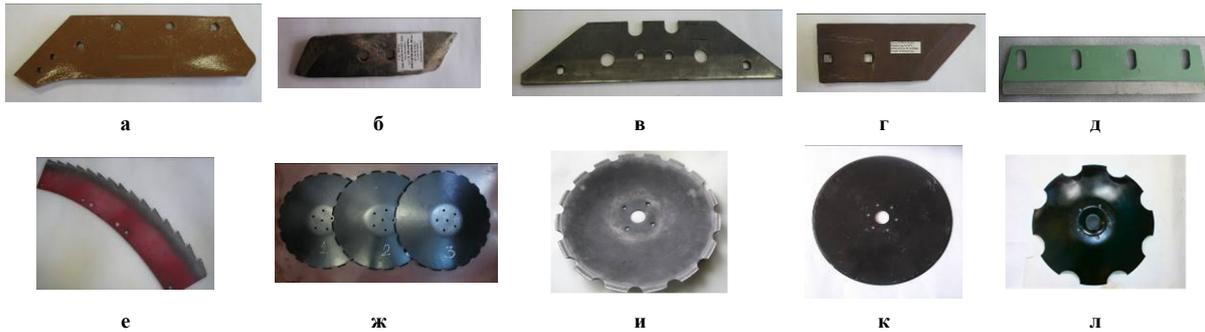


Рис. 3. Сменные ДРОМ, изготовленные с применением ТИЗОЖ на предприятиях:
а – ОАО «КЗТШ» (г. Жодино), б – ОАО «Дрогичинский ТРЗ», в, е – ОАО «Минский Агросервис», г – ПРУП «МЗШ»,
д – КУПП «Березарайагросервис», ж, и – ОАО «БЭМЗ», к, л – ОАО «Витебский МРЗ»

Предприятия, освоившие реализацию ТИЗОЖ, используют ее для импульсной закалки сменных ДРОМ. На рис. 4 представлен общий вид термического участка ТИЗОЖ, введенного в эксплуатацию в 2014 г. на ОАО «Витебский МРЗ» и используемого для импульсной закалки дисков дискаторов, сошников дисков сеялок, а также для дальнейшего расширения номенклатуры сменных ДРОМ.



Рис. 4. Общий вид введенного в эксплуатацию на ОАО «Витебский МРЗ» в 2014 г. участка ТИЗОЖ

Число потребителей технологии ИЗОЖ для упрочнения сменных ДРОМ ежегодно увеличивается. В настоящее время ведутся поисковые работы по упрочнению дисков роторов и башмаков брусьев 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 разнородных 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.

Результаты исследований структуры и механических свойств упрочненных импульсной закалкой деталей

Сменные ДРОМ, изготовленные с применением ТИЗОЖ, характеризуются высокой работоспособностью [13,14,15], без использования дорогостоящих легированных сталей. В упрочненных деталях из стали 55 ПП и 60 ПП при достаточно высокой твердости (56...62 HRC) и прочности (σ_s более 2000 МПа) сохраняется повышенная ударная вязкость (КСУ не менее 0,6 МДж/м²). Ресурс сменных ДРОМ нового поколения в 2 и более раза выше по сравнению с изделиями, изготовленными по традиционной технологии с использованием стали 65 Г. В зарубежной практике такими свойствами обладают сменные ДРОМ, изготовленные из легированных сталей [16].

Упрочненные с использованием ТИЗОЖ сменные ДРОМ систематически проходят приемочные испытания на объектах ГУ «Белорусская МИС». На рис. 5 представлен дискатор АД-6 «Рубин-600», испытываемый в эксплуатационных условиях и укомплектованный дисками, упрочненными в условиях ОАО «Витебский МРЗ».



Рис. 5. 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 выполнялось в соответствии с ТКП 572-2015 [20]. В основу анализа повышения надежности и долговечности упрочненных изделий положен структурный подход, изложенный в монографии [21] Для оценки напряженного состояния изделий учитывались результаты работы [22].

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

Численные значения прочности (σ_s) материала испытываемых дисков дискаторов определены аналитически с учетом корреляционной связи [19] между временным сопротивлением и числом твердости (НВ) из соотношения $\sigma_s = 3,4 \cdot НВ$ и составили 1683 - 1748 МПа. Это превышает норматив, регламентированный [20].

Численные значения ударной вязкости (КСУ) материала испытываемых дисков находится в интервале 61,8 – 85,6 Дж/см². Интенсивность абразивного изнашивания материала дисков, отнесенная к площади трения 1см², 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 в пределах 40,9 – 43,5 га.

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

Таблица 1

Результаты испытаний материала (сталь 35) сферических дисков (диаметр 620 мм)

Показатели	HRC (HB)	σ_e , МПа	KCU, Дж/см ²	ϵ	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	-
Норматив по СТБ 1616-2011	-	-	-	-	не менее 40

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 (рисунок 6 а) образовалась микроструктура весьма мелко игольчатого мартенсита, по оценке металлографическим методом [23] наибольшая длина игл которого составляет до 1 мкм.

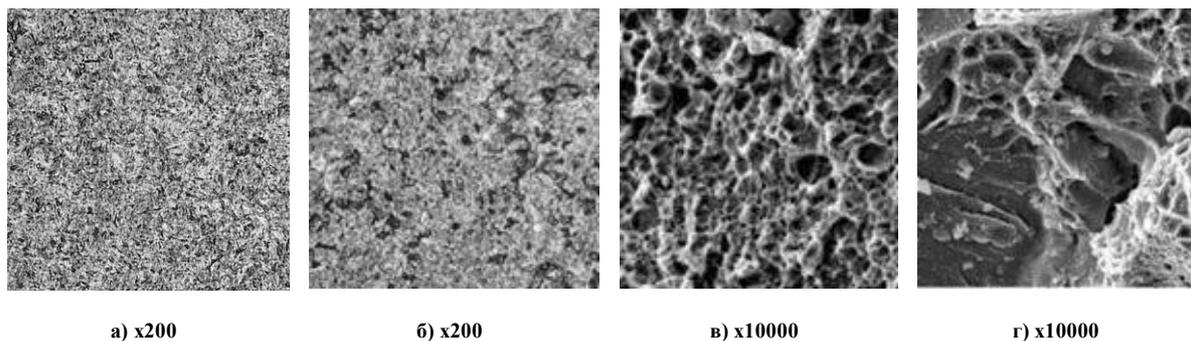


Рис. 6. Микроструктура внешних поверхностей (а) и сердцевины (б) и морфология ячеистого излома образца, испытанного на ударный изгиб (в-наружного слоя, г - сердцевины)

При увеличении соответственно x50 000 и x80 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.

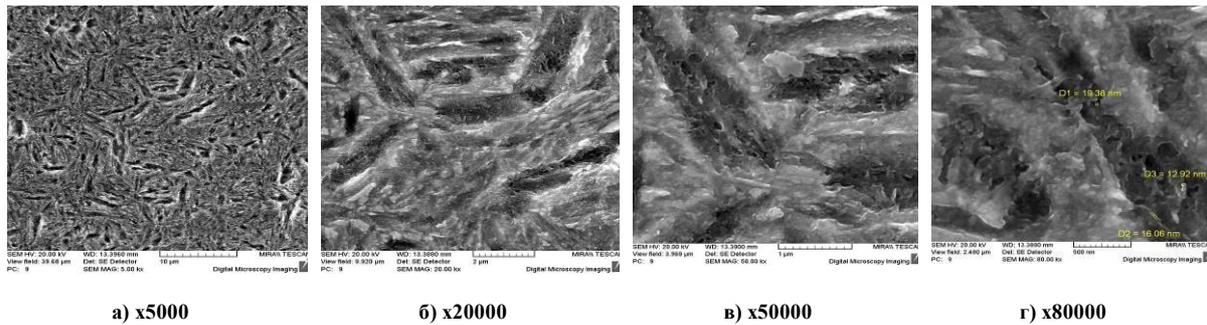


Рис. 7. Микроструктура упрочненного слоя образца стали 60ПП толщиной 8мм после импульсного закалочного охлаждения водой и низкого отпуска

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 (рисунок 6 б) также свидетельствуют о его дисперсности [23]. В поперечном сечении размеры фрагментов троостита составляют 20 – 60 нм, а длина трооститных пластин находится в пределах 120 – 500 нм (таблица 2).

Таблица 2

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

Класс	Количество, штук	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

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 – 0,08мкм. (таблица 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 [24] сменных ДРОМ, отвечающих требованиям изделий нового поколения.

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

Выводы

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

2. ТИЗОЖ относится к группе высокоинтенсивных процессов термического воздействия охлаждающей жидкости 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. Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью является отечественной, обладает патентной чистотой и защищенностью, относится к числу энерго-ресурсо- и природосберегающих и высокопроизводительных технологий. Она реализуется с применением технологического оборудования отечественного производства. Занимаемая площадь производственного помещения составляет 54-72 м².

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 др. детали) нового поколения.

Литература

1. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. Т.1. – М.: Наука и технологии, 2004. – 392 с.
2. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. Т.2. – М.: Наука и технологии, 2004. – 608 с.
3. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. Т.3. – М.: Наука и технологии, 2004. – 704 с.
4. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин/И. Н. Шило [и др.] – Минск: БГАТУ, 2010. – 320с.
5. Наноструктурные материалы: получение, свойства, применение /под ред. академика Витязя П.А./– 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. Бетенья, Г.Ф. Анискович, Г.И. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью. / MOTOROL/ – Lublin-Pzeszow, 2013, vol.15, №7 – С.80-86.
9. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники/Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетенья, Г.И. Анискович, А.И. Гордиенко, В.С. Голубев, А.Н. Давидович//Сборник докладов 12 МНТК 10-12 сентября 2012 г., Углич. – М.: Известия, 2012. – С.219-228.
10. Рабочий орган почвообрабатывающих машин (варианты): Патент на изобретение №7466 РБ/Дашков В. Н., Хилько И. И., Бетенья Г. Ф. [и др.]; УО БГАТУ. Опубл. 28.06.2005//Дзяржаўны рээстр карысных мадэляў/Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай маёмасці.
11. Технологический модуль для закалки деталей: патент № 2139 РБ / Бетенья Г. Ф. [и др.]; УО БГАТУ. Опубл. 16.05.2005//Дзяржаўны рээстр карысных мадэляў/Нацыянальны цэнтр інтэлектуальнай маёмасці.
12. Закалочное устройство для быстрого охлаждения тонкостенных заготовок: патент №19291 РБ на изобретение /Бетенья Г.Ф. [и др.], 2015.
13. Бетенья, Г.Ф. Упрочнение деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин в условиях импульсного закалочного охлаждения/Г.Ф.Бетенья, А.В.Кривцов //Агропанаорама/ - 2015, №3.-С.15-19.
14. Бетенья, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью/Г.Ф.Бетенья, Г.И.Анискович //Вестник БарГУ/ - 2013, вып.1 – С.152-159.
15. Бетенья, Г.Ф. Объемные нанокристаллические износостойкие детали рабочих органов сельскохозяйственной техники /Г.Ф.Бетенья [и др.]//Вестник Полоцкого государственного университета/ - 2012, №3, серияВ. Промышленность. Прикладные науки. – С.46-51.
16. Landmaschinenwelt 97/98. // Technische Anberungen Vorbehalten, 1997. – 181с.
17. Bulk nanokristalline steel//ironmaking and steelmaking. – 2005. – V.32. – P.1-24.
18. Горынин, И. В. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области конструкционных наноматериалов/И. В. Горынин//Российские нанотехнологии. – 2007. - №3-4. – С. 36-57.
19. Материаловедение: Учебник для вузов/Б. А. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин [и др.]; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М.: МГТУ им. Н. Э.Баумана, 2008. – 648с.
20. ТКП 572-2015(33170). Детали сельскохозяйственных машин, подвергающиеся интенсивному износу. Требования к параметрам устойчивости к абразивному, ударно-абразивному изнашиванию и пластической деформации. Минск, Минсельхозпрод, - 2015.
21. Тушинский, Л.И. Структурная теория конструкционной прочности материалов: Монография. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 400 с.
22. Игнатков, Д.А. Приближенная оценка напряженного состояния лезвийной части сферического диска дискатора/Д.А.Игнатков, А.В.Ващула, Г.Ф Бетенья/ Вестник БарГУ//. - 2015,вып.3. – С. 62-68.
23. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры [Текст. - введ. 1957-07.01. - М.: Изд-

во стандартов.1960. - 4с]

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

Summary

Aniskovich G.I., Litovchik D.P. Experience of the technology pulse quenching cooled liquid to harden replacement parts of agricultural machiner

The article presents information on the implementation of pulsed quenching liquid cooling technology in production conditions, technological equipment of thermal plants, structure and mechanical properties of reinforced parts.

Keywords: thermal production, replacement parts, quench cooling, structural composition, strength, microhardness, toughness, wear resistance.

References

1. Yenciklopedicheskii spravochnik termista-tehnologa: v 3 t. T.1. – М.: Nauka i tehnologii, 2004. – 392 s.
2. Yenciklopedicheskii spravochnik termista-tehnologa: v 3 t. T.2. – М.: Nauka i tehnologii, 2004. – 608 s.
3. Yenciklopedicheskii spravochnik termista-tehnologa: v 3 t. T.3. – М.: Nauka i tehnologii, 2004. – 704 s.
4. Povyshenie rabotosposobnosti detalei rabochih organov sel'skohozjaistvennyh mashin/I. N. SHilo [i dr.] – Minsk: BGATU, 2010. – 320s.
5. Nanostrukturnye materialy: poluchenie, svoistva, primenenie /pod red. akademika Vitjazja P.A./– Minsk: Belaruskaja navuka, 2009. – 370 s.
6. Gorynin, I. V. Yekonomnolegirovannye stali s nanomodifi-cirovannoi strukturoi dlja yekspluatacii v yekstremal'nyh uslovijah/I. V. Gorynin [i dr.]//Voprosy materialovedeniya. – 2008. - №22. – S. 7-19.
7. Panin, V. E. Fizicheskaja mezomehanika i neravnovesnaja termodinamika kak metodologicheskaja osnova nanomaterialovedeniya/V. E. Panin, V. E. Egorushkin//Fizicheskaja mezomehanika. – 2009. - №12. – S. 7-26.
8. Betenja, G.F. Aniskovich, G.I. Modifikacija struktury i mehanicheskikh svoistv stali ponizhennoi prokalivaemosti pri impul'snom zakalochnom ohlazhdenii zhidkost'yu. /MOTOROL/ – Lublin-Pzeszow, 2013, vol.15, №7 – S.80-86.
9. Innovacionnye tehnologii uprochneniya detalei sel'skohozjaistvennoi tehniky/N.V. Kazarovec, G.F. Betenja, G.I. Aniskovich, A.I. Gordienko, V.S. Golubev, A.N. Davidovich//Sbornik dokladov 12 MNTK 10-12 sentjabrja 2012 g., Uglich. – М.: Izvestija, 2012. – S.219-228.
10. Rabochii organ pochvoobrabatyvayushih mashin (varianty): Patent na izobrenie №7466 RB/Dashkov V. N., Hil'ko I. I., Betenja G. F. [i dr.]; UO BGATU. Opubl. 28.06.2005//Dzjarzhaŭny ryeestr karysnyh madyeljaŭ/Nacyjanal'ny cyentr intyelektual'nai mayomasci.
11. Tehnologicheskii modul' dlja zakalki detalei: patent № 2139 RB / Betenja G. F. [i dr.]; UO BGATU. Opubl. 16.05.2005//Dzjarzhaŭny ryeestr karysnyh madyeljaŭ/Nacyjanal'ny cyentr intyelektual'nai mayomasci.

12. Zakalochnoe ustroistvo dlja bystrogo ohlazhdenija tonkostennyh zagotovok: patent №19291 RB na izobrenenie /Betenja G.F. [i dr.], 2015.
13. Betenja, G.F. Uprochnenie detalei rabochih organov sel'skhozjaistvennyh mashin v uslovijah impul'snogo zakalochnogo ohlazhdenija/G.F.Betenja, A.V.Krivcov //Agropanorama/ - 2015,№3.-S.15-19.
14. Betenja, G.F. Opyt uprochnenija detalei iz stalei ponizhennoi prokalivaemosti impul'snym zakalochnym ohlazhdeniem zhidkost'yu/G.F.Betenja, G.I.Aniskovich //Vestnik BarGU/ - 2013, vyp.1 – S.152-159.
15. Betenja, G.F. Ob'emnye nanokristallicheskie iznosostoikie detali rabochih organov sel'skhozjaistvennoi tehniki /G.F.Betenja [i dr.]/Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta/ - 2012,№3,serijaV. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. – S.46-51.
16. Landmaschinenwelt 97/98. // Technische Anberungen Vorbehalten, 1997. – 181с.
17. Bulk nanokristalline steel//ironmaking and steelmaking. – 2005. – V.32. – P.1-24.
18. Gorynin, I. V. Issledovanija i razrabotki FGUP CNII KM «Prometei» v oblasti konstrukcionnyh nanomaterialov/I. V. Gorynin//Rossiiskie nanotehnologii. – 2007. - №3-4. – S. 36-57.
19. Materialovedenie: Uchebnik dlja vuzov/B. A. Arzamasov, V. I. Makarova, G. G. Muhin [i dr.]; Pod obsh. red. B. N. Arzamasova, G. G. Muhina. – M.: MGTU im. N. Ye.Baumana, 2008. – 648s.
20. ТКР 572-2015(33170). Detali sel'skhozjaistvennyh mashin, podvergayushiesja intensivnomu iznosu. Trebovanija k parametram ustojchivosti k abrazivnomu, udarno-abrazivnomu iznashivaniyu i plasticheskoj deformacii. Minsk, Minsel'hozprod,- 2015.
21. Tushinskii, L. I. Strukturnaja teorija konstrukcionnoi prochnosti materialov: Monografija. – Novosibirsk: NGTU, 2004. – 400 s.
22. Ignat'kov, D.A. Priblizhennaja ocenka naprjazhennogo sostojanija lezviinoi chasti sfericheskogo diska diskatora/D.A.Ignat'kov, A.V.Vashula, G.F Betenja/ Vestnik BarGU//.- 2015,vyp.3. – S. 62-68.
23. GOST 8233-56. Stal'. Yetalony mikrostruktury [Tekst. - vved. 1957-07.01.- M.: Izd-vo standartov.1960.-4s]
24. GOST 23.208-79. Obespechenie iznosostoikosti izdelii. Metod ispytanii materialov na iznosostoikost' pri trenii o nezhestko zakreplennye abrazivnye chasticy. - M.: Izd-vo standartov. - 8s.