

качестве диагностического признака может быть сведена к принятию решения в статистической игре с одним экспериментом.

Остается открытым вопрос о выборе правила поиска решений. В той же работе [7], а также в работе [4] рассматривается несколько подходов: выбор минимаксной стратегии, использование метода максимального правдоподобия, минимального риска и др. Однако по нашему мнению наиболее перспективными в данном случае является применение Байесовского принцип принятия наилучшего решения, а также использование критерия Гурвица.

В первом случае может быть обеспечено принятие решения относительно одного химического элемента, изменение которого при переходах в различные состояния будет максимальным. Во втором же случае имеется возможность расширить диапазон элементов, относительно которых будет принято положительное решение за счет вариации коэффициентом доверия.

#### **Выводы и перспективы дальнейших исследований**

1. В работе разработана статистическая модель принятия решения о выборе диагностического признака технического состояния АТС на основе информации, получаемой в эксплуатации, а также результатов применения ЭСА.

2. Даная математическая модель является основой методики принятия решения о техническом состоянии АТС т.к. позволяет выявить связь между техническим состоянием объекта и изменением количества включений в масле.

3. Использование разработанной модели в составе методики принятия решения о техническом состоянии АТС позволит получать исходные данные для оперативного контроля состояния отдельных агрегатов, а также для последующего прогнозирования их остаточного ресурса.

#### **Литература**

1. Рекомендации по внедрению диагностической системы управления состоянием дизелей тепловозов и дизель-тепловозов по результатам анализа масла. Введены 23.10.2009г. – 32с.
2. Сиротин Н.Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Н.Н. Сиротин, Ю.М. Коровкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 279с.
3. Терёк Т. Эмиссионный спектральный анализ: в 2 т. Т.1 / Т. Терёк, Й. Мика, Э. Гегуш. – М.: Мир, 1982. – 423с.
4. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240с.
5. Щигольев Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: ГИ ФМЛ, 1962. – 343 с.
6. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента / И.И. Бажин. – М.: ГУ-ВШЭ, 2000. – 688с.
7. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики / Ю.М. Коршунов. – М.: Энергия, 1980. 424с.

УДК 721.785

### **ИМПУЛЬСНАЯ ЗАКАЛКА – ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

**Бетень Г.Ф.**, к.т.н., доцент, **Анискович Г.И.**, к.т.н, доцент  
Белорусский государственный аграрный технический университет

Проблема увеличения ресурс сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин является весьма актуальной. Эти детали эксплуатируются в тяжелых условиях и для сохранения работоспособного состояния должны иметь особый комплекс свойств: достаточный уровень прочности и износостойкости и в то же время высокие показатели пластичности и предела упругости. Традиционно применяемые материалы и технологии упрочнения деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин достигли своего предела в получении

требуемой конструкционной прочности и износостойкости и требуют эффективной замены. Основная причина состоит в том, что с увеличением прочности (твёрдости) и износостойкости пластичность сталей уменьшается [1,2].

Для решения проблемы повышения ресурса сменных деталей необходима разработка эффективных и доступных для широкого применения инновационных технологий, на основе новых подходов повышения свойств конструкционных сталей в результате формирования в них объёмного микро- и наноструктурированного состояния [2,3]. Исследования последних десятилетий показали, что наиболее эффективным способом повышения прочности при обеспечении достаточной вязкости и пластичности является измельчение структуры путем применения микролегирования, контролируемой прокатки и других способов обработки [4].

На современном этапе развития металловедения из уже получивших практическую реализацию на наномасштабном уровне явлений можно выделить два основных направления:

- упрочнение стали путём контролируемого введения ультра- и мелкодисперсных наночастиц [1,2,5];
- упрочнение за счёт фрагментации – специального управляемого измельчения структуры стали [6,7,8].

В последнее время установлено, что наряду с интенсивной пластической деформацией эффективное формирование мелкодисперсных структур может быть достигнуто и при закалке конструкционных сталей за счёт фазового превращения в процессе охлаждения [3]. Практические результаты достигнуты европейскими, американскими и японскими производителями. В работе [7] сообщается о получении в промышленных условиях стальных заготовок толщиной более 200 мм с размером структурных элементов не более 40 нм.

В случае углеродистых конструкционных сталей, в частности сталей пониженной прокаливаемости (ПП) возможен вариант термической обработки на получение мартенситной структуры с повышением их прочностных характеристик на 25-30% без снижения ударной вязкости [9].

Термическое упрочнение изготавливаемых деталей рабочих органов осуществляют путём закалки с последующим низким отпуском для получения структуры мартенсита отпуска повышенной твердости (60 – 62 HRC). Применяемые температурно-временные режимы классической закалки приводят к высокой хрупкости стальных изделий, снижая их ресурс [9]. Использование интенсивного импульсного водяного охлаждения при термообработке стали 60ПП позволяет избежать этого недостатка в результате получения объёмной нанокристаллической структуры и фрагментации зерен мартенсита.

Упрочнение деталей импульсной закалкой реализуется с применением технологического комплекса в составе термических печей для нагрева заготовки под закалку и отпуска после закалки, технологического модуля для импульсного охлаждения в комплекте с закалочным устройством.

Закалочное устройство разрабатывается для каждого типоразмера деталей индивидуально, при этом должны учитываться следующие принципы:

- фиксация положения деталей в закалочных устройствах не должна препятствовать изменению размеров деталей в процессе охлаждения;
- постоянство скорости движения воды в устройстве;
- зазоры между стенками закалочного устройства и поверхностями закаливаемого изделия должны обеспечивать необходимую скорость потока воды и соответственно интенсивность охлаждения;
- для равномерного охлаждения закаливаемых поверхностей перед входом в закалочное устройство должно поддерживаться избыточное давление.

По разрабатываемой специалистами БГАТУ технологии импульсной закалки осуществлялось упрочнение экспериментальных образцов сменных деталей корпусов плуга, дисков дискатора. На рисунке 1 (а, б) показаны микроструктуры упрочненного слоя образца стали 60ПП после импульсной закалки при увеличениях  $\times 5000$ ,  $\times 20000$ . Максимальная длина игл мартенсита составляет 5-6 мкм, толщина игл - порядка 0,2 – 0,3 мкм. Структура образца

характерна для мартенсита пакетного (речного) типа со средним поперечным размером реек 450 – 550 нм. Твердость по Роквеллу упрочненного слоя – 56 – 57 HRC.

Только при увеличениях  $\times 50000$  и  $\times 80000$  методом электронной микроскопии выявлена фрагментация мартенсита рисунке 1 (в, г). В результате исследований определено, что мартенситные иглы частично фрагментированы, размер фрагментов находится в диапазоне 20 – 150 нм, их средний размер составляет 40 – 50 нм. На отдельных фрагментах проявляются очертания субмикрозерен. Края мартенситных пластин и фрагментов частично размыты, что говорит об их аморфно-кристаллическом состоянии.

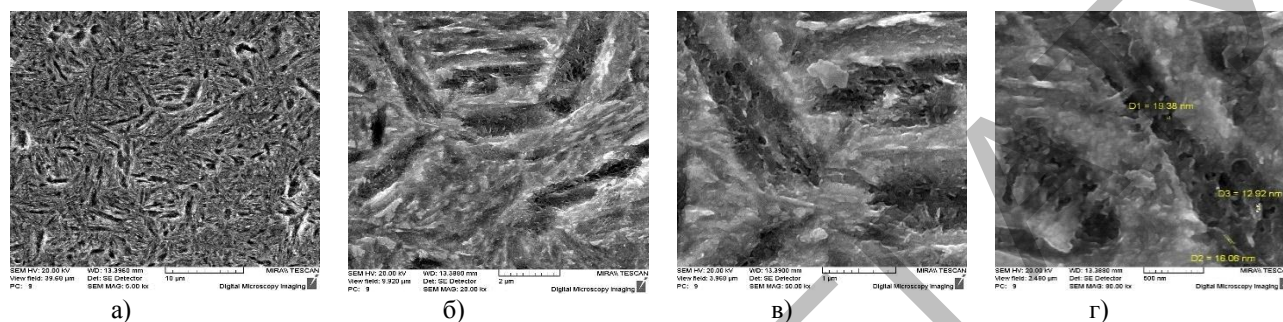


Рисунок 1 – Микроструктура упрочненного слоя (закалка с последующим низким отпуском) образца: а -  $\times 5000$ ; б -  $\times 20000$ ; в -  $\times 50000$ ; г -  $\times 80000$

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. После низкого отпуска при  $180^{\circ}\text{C}$  размер фрагментов изменяется незначительно, 60% составляют фрагменты зерен мартенсита размерами 0,02-0,06 мкм. Исследования упрочненного слоя образцов стали 60ПП с углубленным изучением микроструктуры мартенсита при больших увеличениях, выявили предпосылки для определения влияния фрагментации игл мартенсита на её механические свойства.

Результаты испытаний на трехточечный изгиб образцов стали 60ПП после термической обработки (без и с отпуском) показали, что наноструктурные изменения приводят к значительному увеличению предела прочности на изгиб в 1,35 - 1,45 раза.

Таким образом в объёмных деталях рабочих органов из углеродистых сталей пониженной прокаливаемости при их импульсной закалке и низком отпуске формируется фрагментированная нанокристаллическая структура мартенсита, что позволяет достигнуть оптимального сочетания прочностных и вязкостных характеристик упрочненных деталей.

#### Литература

1. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. *Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений.* – М.: Машиностроение, 1990. – 528с.
2. Арзамасов, Б.Н. *Материаловедение: учебник для вузов /Арзамасов, Б.Н и др.* – Изд. 8-е – Москва : Изд-во МГТУ, 2008. - 648с.
3. Лякишев Н.П., Алымов М.И. *Наноматериалы конструкционного назначения // Российские нанотехнологии, 2006, Т.1, № 1-2, С. 71 - 81.*
4. Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. *Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей // МИТОМ, 2009, №6 (643), С. 3-7.*
5. Ушеренко С.М. *Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов.* Минск: НИИ ИП с ОП, 1998. – 210 с.
6. Горынин И.В. и др. *Экономнолегированные стали с наномодифицированной структурой для эксплуатации в экстремальных условиях. // Вопросы материаловедения. 2008. №2(54), с.7-19.*
7. Bulk nanocrystalline steel // *Ironmaking and steelmaking.*-2005.-V.32-p.405-410.
8. Быков Ю.А. *Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение №7 к*

журналу «Справочник. Инженерный журнал», 2010, №7, С.1-24.

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

УДК 613.3(0758)

### **РЕГЕНЕРАЦИЯ ВОДЫ НА ПОСТАХ ОЧИСТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**Мирутко В.В.**, к.т.н., доцент, **Тарасенко В.Е.**, к.т.н., доцент,

**Клесс Ю.А.**, студент, **Лихтарович С.М.**, студент

Белорусский государственный аграрный технический университет

Важной и актуальной задачей при очистке сельскохозяйственной техники является применение оборотных систем водоснабжения. Одной из проблем при решении этого вопроса является очистка сточных вод до нормативных требований [1] по взвешенным веществам до 10 мг/л и по нефтепродуктам до 2 мг/л при расчетных начальных концентрациях соответственно 16000 и 1500 мг/л. При очистке основная проблема состоит в удалении тонкодисперстных взвешенных веществ и эмульгированных нефтепродуктов.

Одним из наиболее перспективных и технологичных методов очистки стоков является электрохимическое коагулирование, которое может быть применено для удаления из сточных вод тонкодисперсных и органических примесей, эмульсий, масел, жиров, нефтепродуктов, хроматов и фосфатов [2, 3, 4]. При использовании в качестве анода железных или алюминиевых электродов происходит электрохимическое растворение, при котором в сточную воду переходят ионы этих металлов, обладающие коагулирующей способностью. Процесс аналогичен обработке воды соответствующими реагентами, однако при электрокоагуляции вода не обогащается сульфидами или хлоридами, содержание которых лимитируется при сбросе очищенных вод в водоемы или использовании в оборотных системах.

Обычно электрокоагулятор представляет собой корпус прямоугольной формы, в который помещают электродный блок. Наиболее удобны при монтаже и просты в изготовлении блоки электродов, выполненные из листового материала. Блоки электродов могут включать объемный модуль, соединенный сваркой или стягивающими шпильками с диэлектрической проставкой или состоять из отдельных электродов, соединенных с токопроводящими шинами.

Электрокоагуляторы (рисунок 1) классифицируются по форме электродов, характеру движения и направлению потока обрабатываемой воды, давлению в электродной камере и взаимодействию с устройствами отделения дисперсной фазы.

Высокой эффективностью движения жидкой и газовой фаз в межэлектродном пространстве отличается очистка сточных вод в периферийном электрокоагуляторе вертикального типа с непрерывной очисткой электродов (рисунок 1а). Наиболее полно используется объем оборудования, как правило, при коаксиальном и вертикальном расположении камер в цилиндрических корпусах (рисунок 1б). Институтом «Гипроморнефть» разработан электрокоагуляционный аппарат, в котором разделение электрокоагулированной системы происходит в тонкослойном отстойнике (рисунок 1в). Этот комбинированный электрокоагулятор позволяет отказаться от громоздких отстойников. Для очистки сточных вод, содержащих в основном всплывающие вещества, рекомендуется применять электрокоагулятор вертикального типа, встроенный в горизонтальный отстойник. Вода поступает снизу и вместе с гидроксидами и газовой фазой отводится в зону гравитационного разделения. В зоне осветления часть загрязняющих веществ всплывает, а другая оседает на дно (рисунок 1г).

Электрокоагуляционные установки отличаются компактностью и простотой управления, отсутствием потребности в реагентах, малой чувствительностью к изменениям условий проведения процесса очистки воды, получением шлама с хорошими структурно-механическими свойствами.