

АННОТАЦИЯ

**на диссертацию Косановой Индиры Муратовны на тему:
«Улучшение качества поверхностного слоя тяжело-нагруженных
деталей методом плазменной обработки», представленной на соискание
степени доктора философии (PhD) по образовательной программе
8D07501 – «Стандартизация и управление качеством продукции».**

Актуальность работы.

В условиях устойчивого экономического роста и индустриально-инновационного развития Республики Казахстан особое значение приобретает повышение эффективности агропромышленного комплекса (АПК), как одного из ключевых секторов национальной экономики. Согласно стратегическим документам, в том числе Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021-2030 годы и Комплексному плану по развитию машиностроительной отрасли на 2024–2028 годы, приоритетом является внедрение высокоэффективных, ресурсосберегающих и инновационных технологий, способствующих росту производительности труда и снижению себестоимости сельскохозяйственной продукции.

Одним из важнейших направлений повышения эффективности сельхозпроизводства является улучшение эксплуатационных характеристик рабочих органов сельскохозяйственной техники. Износ этих деталей ведёт не только к снижению качества обработки почвы, но и к увеличению затрат на ремонт, обслуживание, простоя машин и, как следствие, к удорожанию производимого сырья.

Специфика Казахстана, с его масштабной промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, а также значительной развитостью сельскохозяйственного транспорта, акцентирует внимание на необходимость усовершенствования и повышения долговечности технических деталей. Улучшение качества поверхностного слоя деталей в соответствии с методами и технологиями, описанными в нормативных документах Республики Казахстан, является одним из приоритетных направлений исследований в данной области.

Сельскохозяйственная промышленность Республики Казахстан представлена предприятиями, которые оснащены различной техникой: машинно-тракторные агрегаты, посевная, посадочная и уборочная техника, техника для полива и орошения, внесения удобрений.

Наиболее большим ударно-абразивным нагрузкам (400-650 кг на одну деталь), износу и контактно усталостной деформации подвергаются лемеха плугов и лапы культиваторов. Как показывают результаты многочисленных испытаний на долговечность, от 10 до 40% лемехов и лап культиваторов в условиях суглинистых почв выбраковывается из-за изгиба и поломки, не достигнув предельного состояния по износу [5,6]. И, как следствие, дальнейшие простои техники по причине изнашивания или низкой надежности приводят к потерям урожая, дополнительным затратам на

восстановление работоспособности. По данным производственной практики и эксплуатационных наблюдений для почв средней плотности (суглинки, супеси) наработка на отказ незакалённых лемехов плуга и лап культиваторов составляет в среднем 720 га на одну деталь, при этом в более абразивных условиях (песчаные почвы с наличием каменистых включений) данный показатель может снижаться до 640-650 га. То есть детали теряют работоспособность уже после наработки около 700 га, тогда как технологически обоснованный ресурс должен быть в 1,5-2 раза выше. Следовательно, возникает научно-техническая проблема повышения износостойкости и долговечности тяжело-нагруженных деталей при сохранении их работоспособности в условиях переменных нагрузок, которая требует применения эффективных методов поверхностного упрочнения.

В контексте активного развития технологий и повышения требований к надежности и эффективности работы технических систем, вопрос улучшения качества поверхностного слоя тяжело нагруженных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники является актуальным.

В этой связи особое значение приобретает использование эффективной плазменной закалки для улучшения поверхностного слоя нагруженных деталей без деформации внутреннего слоя металла, обеспечивающих сохранение концентрации углерода в структуре. Данный метод перспективен тем, что дает возможность плавного регулирования в процессе закалки параметров режимов, является практичным, экономичным и производительным.

Отсутствие специализированной нормативно-технической документации, комплексно регламентирующей процессы плазменной закалки конструкционных углеродистых сталей, является одной из существенных причин снижения износостойкости, долговечности и эксплуатационного ресурса тяжело-нагруженных деталей почвообрабатывающих машин. В условиях отсутствия единых требований к параметрам плазменной обработки, режимам нагрева и охлаждения, глубине упрочнённого слоя и структуре поверхностной зоны возрастает вероятность нестабильности технологического процесса и получения неоднородных эксплуатационных характеристик упрочняемых деталей. Решение данной проблемы требует разработки отраслевого стандарта, который мог бы регулировать и обеспечить качество плазменной закалки, в частности лемехов плугов и лап культиваторов из конструкционных углеродистых сталей.

В связи с этим целью данной диссертационной работы является разработка нормативной документации на процессы плазменной закалки путем определения и обоснования оптимальных режимов плазменной закалки.

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие основные задачи:

- анализ существующих методов упрочнения тяжело нагруженных деталей;

- исследование влияния параметров плазменной закалки на микроструктуру и фазовый состав стали марки 65Г;
- построение регрессионной модели влияния режимов плазменной закалки на механические и эксплуатационные свойства тяжело нагруженных деталей из стали 65Г с целью оптимизации технологического процесса;
- оценка эксплуатационных и физико-химических характеристик упрочненных деталей, включающих оценку твёрдости поверхности, глубины упрочнённого слоя, износостойкости ударной вязкости и коррозионной стойкости;
- исследование и оценка распределения остаточных напряжений в поверхностном слое деталей после плазменной закалки;
- разработка нормативно-технической документации на технологический процесс плазменной закалки изделий из углеродистых конструкционных сталей;
- оценка ожидаемой экономической эффективности от внедрения технологии плазменной закалки.

Объект исследования – лемех плуга и стрелчатая лапа культиватора.

Предмет исследования – Влияние режимов плазменной закалки на эксплуатационные и физико-механические свойства и структуру упрочненного слоя лемеха плуга и стрелчатой лапы культиватора.

Научные результаты в рамках диссертационных требований к диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цель и задачи работы, раскрыты научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов и отражён личный вклад автора.

В первой части выполнен анализ современного состояния и проблем эксплуатации рабочих органов сельскохозяйственной техники. Особое внимание уделено методам системного управления качеством тяжело нагруженных почвообрабатывающих машин с учётом высокой чувствительности их рабочих органов к износу и эксплуатационным нагрузкам, а также условий интенсивного абразивного воздействия. Кроме того, рассмотрены существующие подходы и исследования в области плазменной закалки.

Во второй части представлены объекты, материалы и методы исследования. Обоснован выбор конструкционного материала для плазменной обработки, применяемого при изготовлении деталей сельскохозяйственной техники. Приведены результаты металлографического и рентгеноструктурного анализа, измерений микротвёрдости, а также испытаний на износ, характеризующие изменения структуры и физико-механических свойств стали 65Г под воздействием термического упрочнения.

В третьей части рассмотрены вопросы обоснования и выбора оптимальных режимов плазменной обработки для тяжело-нагруженных деталей почвообрабатывающих машин, также проведен регрессионный анализ.

Приведена оценка распределения остаточных напряжений в поверхностном слое деталей после плазменной закалки. Рассмотрена разработка технологической инструкции и стандарта организации.

В четвертой части представлены результаты исследований влияния плазменной обработки на свойства стали 65Г; дана оценка глубины упрочнённого слоя и изменения его твердости в результате плазменной закалки; приведены результаты натурных испытаний лемехов плуга и лап культиватора на износостойкость, а также выполнена оценка трещиностойкости стали по результатам испытания на ударный изгиб и статического изгиба с анализом повреждаемости материала.

В пятой части содержится оценка ожидаемой технико-экономической производственной эффективности от внедрения технологии плазменной закалки.

Научная новизна.

1. Разработаны оптимальные режимы плазменной закалки лемеха плуга и лапы культиватора, обеспечивающих формирование слоя с повышенными износостойкостью и физико-механическими характеристиками.

2. Определено влияние основных режимов закалки (сила тока, напряжение дуги, расстояние от горелки до поверхности, а также скорость перемещение горелки) на формирование упрочненного слоя. На основе регрессионного анализа установлены закономерности межфакторного взаимодействия варьируемых параметров режима плазменной закалки, при этом твердость поверхности определена как наиболее значимый отклик, характеризующий эффективность процесса упрочнения.

3. Исследованы закономерности формирования и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое стали 65Г после плазменной закалки, установлено образование градиентного поля сжимающих напряжений величиной до 353-440 МПа в приповерхностной зоне, способствующих повышению трещиностойкости и эксплуатационной долговечности лемехов плугов.

4. Разработана технологическая инструкция по плазменной закалке лемехов плугов.

5. Разработан стандарт организации СТО ТОО - 190740006823-01-2026 «Плазменная закалка изделий из углеродистых конструкционных сталей».

Практическая значимость работы.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности применения оптимизированных режимов плазменной закалки для упрочнения тяжело-нагруженных деталей почвообрабатывающих машин, что позволяет повысить срок службы и износостойкость рабочих органов сельскохозяйственной техники. Разработанные технологические рекомендации могут быть использованы предприятиями сельского хозяйства, производителями почвообрабатывающей техники, а также сервисными и ремонтными центрами.

Показана возможность повышения износостойкости и долговечности тяжело-нагруженных деталей почвообрабатывающих машин методом

плазменной обработки. С этой целью совместно с ТОО «Нур 777 КАС» (Северо-Казахстанская область, Аккайынский район) проведены полевые испытания, подтвердившие эффективность предложенных режимов плазменной обработки.

Связь диссертации с другими научно-исследовательскими работами.

Диссертационная работа выполнена по бюджетной программе в рамках грантового финансирования проектов по теме: AP26104483 «Исследование и разработка градиентного упрочнения цельнокатаных железнодорожных колес плазменной закалкой».

Основные положения, выносимые на защиту:

- Научное обоснование влияния плазменной закалки на структуру, эксплуатационные и физико-механические свойства тяжело нагруженных деталей почвообрабатывающих машин;
- Разработка оптимальных технологических режимов плазменной закалки тяжело нагруженных деталей сельскохозяйственной техники;
- Технологическая инструкция плазменного упрочнения лемехов плугов;
- Стандарт организации на плазменную закалку конструкционных углеродистых сталей;
- Экономическая и производственная эффективность метода плазменной закалки для улучшения качества тяжело нагруженных деталей сельскохозяйственной техники, путем увеличения их износостойкости.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на международных научно-практических конференциях:

- XII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» (Астана, 2024 – 14 марта).
- LXXXIII Международная научно-практическая конференция «Научный форум: технические и физико-математические науки» (Москва, 2025 – 14 апреля, получен Сертификат).
- XCV Международная научно-практическая конференция «Технические науки: проблемы и решения» (Москва, 2025 – 22 апреля).

По общим публикациям: 3 статьи в международных научных изданиях, входящих в базу данных Scopus, 3 статьи в научных изданиях, рекомендуемых КОКСОН Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности, 1 монография, 3 публикации в материалах международных научно-практических конференций, в том числе 1 статья в материалах зарубежных конференций, 1 статья в других изданиях. Получен 1 патент на полезную модель Республики Казахстан.

Личный вклад диссертанта. Диссертант принимал непосредственное участие в обсуждении и постановке задачи и анализе результатов. Все экспериментальные результаты, включенные в диссертацию, получены либо

самим диссертантом, либо при его непосредственном участии.

Структура и объем диссертации: Диссертация изложена на 144 страницах машинописного текста, включая 45 рисунков и 34 таблиц. Состоит из содержания, списка обозначений и сокращений, введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников в количестве 157 наименований.