

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**Высокотемпературная перекристаллизация поверхности стали**  
**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студента магистратуры 2 курса 2292 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,  
профиль «Менеджмент высокотехнологичного инновационного производства и  
бизнеса»  
института физики

Шувалова Андрея Владимировича

Научный руководитель,

д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.Б. Вениг

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,

д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.Б. Вениг

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2025

## **Введение.**

Актуальность темы исследования обусловлена возрастающими требованиями промышленности к износостойкости и прочности стальных изделий. Современные технологии упрочнения поверхности, такие как плазменный (дуговой) метод, позволяют локально модифицировать структуру материала без значительных энергозатрат, что делает их перспективными для применения в машиностроении, нефтегазовой отрасли и транспортном секторе. Помимо технических аспектов, исследование актуально с точки зрения внедрения инновационных технологий в производственные процессы. Современные предприятия сталкиваются с необходимостью оптимизации затрат на обслуживание оборудования и повышения конкурентоспособности продукции. Разработанный метод плазменного упрочнения с использованием оксида церия соответствует принципам бережливого производства (Lean) и управления инновациями.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование влияния параметров дуговой обработки и модификаторов (оксида церия) на структуру и твердость поверхности стали марки Сталь 20.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучить теоретические основы кристаллизации и упрочнения сталей;
- Провести экспериментальное исследование зависимости твердости от силы тока при плазменной обработке;
- Оценить эффективность применения оксида церия в качестве модификатора;
- Проанализировать изменения структуры методами рентгенофазового анализа и микроскопии.

Дипломная работа занимает 53 страницы, имеет 41 рисунок и 1 таблицу.

Обзор составлен по 21 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой теоретический раздел.

Во втором разделе работы методология.

### **Основное содержание работы**

Ключевая идея исследования:

Работа посвящена разработке энергоэффективного метода упрочнения поверхности стальных изделий с использованием плазменной (дуговой) обработки и модификатора на основе оксида церия ( $\text{CeO}_2$ ) [1]. Основное внимание уделено изучению взаимосвязи между параметрами обработки (сила тока, скорость движения образца) и изменением микроструктуры, твердости поверхности стали марки Сталь 20 [2].

Научная новизна и значимость:

Технологический аспект:

Установлены оптимальные режимы дуговой обработки (сила тока 320-340 А, напряжение 32 В, скорость 10 мм/с), обеспечивающие увеличение твердости до 70 HRC.

Доказана эффективность оксида церия как модификатора, снижающего требуемую силу тока на 15-20% при сохранении аналогичных показателей твердости.

Методический вклад:

Комплексный анализ структуры методами рентгенофазового анализа и электронной микроскопии выявил формирование дисперсных фаз (цементит  $\text{Fe}_3\text{C}$ ) и их влияние на механические свойства.

Практическая применимость:

Результаты работы могут быть использованы для упрочнения деталей в инструментальном производстве, нефтегазовом оборудовании и железнодорожном транспорте [3].

Основные результаты:

- Зависимость твердости от силы тока:

Максимальная твердость (69-71 HRC) достигнута при токах 340-360 А. Превышение 370 А приводит к неоднородности структуры из-за перегрева.

- Роль оксида церия:

CeO способствует образованию мелкозернистой структуры, повышая однородность упрочненного слоя. Пиковая твердость (70 HRC) зафиксирована при 340 А, что на 10% меньше тока, требуемого для аналогичного эффекта без модификатора.

- **Фазовый состав:**

Рентгенофазовый анализ подтвердил наличие  $\alpha$ -Fe и цементита (FeC) в обработанных образцах. Обнаружены следы интерметаллидов, требующие дальнейшего изучения.

**Выводы и перспективы:**

Плазменная обработка с модификатором CeO<sub>2</sub> – перспективный метод для локального упрочнения сталей с контролируемой глубиной воздействия.

**Перспективные направления:**

Исследование других редкоземельных модификаторов (La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Адаптация технологии для легированных сталей и сложнопрофильных деталей.

**Заключение.**

В ходе проведенного исследования были изучены методы высокотемпературной перекристаллизации поверхности стали, включая плазменный (дуговой) метод упрочнения. Основное внимание уделялось экспериментальному анализу влияния силы тока и использования модификатора (оксида церия) на твердость и структуру стали марки Сталь 20.

В ходе выполнения практики были получены следующие результаты:

- Плазменный метод обеспечивает значительное увеличение твердости поверхности (до 70 HRC) при оптимальных параметрах тока;
- Использование оксида церия позволяет снизить энергозатраты за счет уменьшения требуемой силы тока;
- Результаты работы могут быть применены для разработки технологий упрочнения деталей в промышленности;

**Практическая значимость и внедрение инноваций:**

Для менеджмента производства:

Технология соответствует концепции «Индустрия 4.0» — может быть интегрирована в автоматизированные линии с IoT-мониторингом параметров обработки.

Позволяет реализовать стратегию TCO (Total Cost of Ownership) за счет снижения эксплуатационных расходов.

Для бизнес-процессов:

На основе результатов работы разработаны рекомендации по внедрению для предприятий машиностроения (например, для упрочнения режущих кромок инструмента или валов насосов).

Увеличение межремонтного интервала оборудования.

Снижение себестоимости обработки на единицу продукции.

Коммерциализация:

Технология может быть предложена как сервисная услуга (аутсорсинг упрочнения) или реализована через продажу лицензий на использование методики.

Для продвижения на рынке целесообразно патентование оптимальных режимов обработки с CeO.

Перспективы развития (управленческий аспект):

Разработка бизнес-плана для привлечения инвестиций в масштабирование технологии.

Создание кросс-функциональной команды (инженеры + менеджеры по инновациям) для адаптации метода под конкретные производственные задачи.

### **Список использованных источников**

- 1 Михеев, А. Е. Упрочнение металлических поверхностей электрической дугой / А. Е. Михеев, А. В. Гирн, С. С. Ивасев, Р. В. Карпов // Сибирский журнал науки и технологий. – 2005. – № 3. – С. 220-223.
- 2 Лещинский, Л. К. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч. – Киев : Техника, 1990. – 107 с.
- 3 Гончаров, В. М. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебно-методическое пособие / В. М. Гончаров. – Ставрополь : Изд-во СКФУ, 2017. – 212 с.