

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

Кафедра материаловедения,  
технологии и управления качеством

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ  
МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ  
ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ НА МАГИСТЕРСКУЮ РАБОТУ

магистранта 2 курса 203 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»  
факультета нано- и биомедицинских технологий  
Положенкова Михаила Евгеньевича

Научный руководитель  
профессор, д.т.н., профессор  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.А. Аникин  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Вениг  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Саратов 2019

**Введение.** В практике машиностроения и других отраслях часто встречаются требования иметь различный химический состав и структуру в разных частях одной детали, особенно ответственного назначения. Выполнение этого требования предопределяет сложности технологического, временного и материального механизмов.

Получение модифицированных материалов с заданными свойствами можно назвать одной из самых важных проблем современного мира, особенно это касается объемно-промышленных железо - углеродистых сплавов - чугунов и сталей. Значительно помочь в решении этой проблемы могут использование новых модификаторов - редкоземельных металлов, но в силу их дороговизны предлагается поверхностная перекристаллизация.

Известные, в настоящее время, операции химико-термической обработки и другие аналоги не всегда дают высокие результаты, особенно, где требуются высокие температуры. В этой связи особый интерес представляет создание установки для высокотемпературной поверхностной перекристаллизации низкоуглеродистых сталей, которая позволяет изменять химический состав, структуру и свойства различных частей деталей ответственного назначения.

Процесс перекристаллизации заключается в нагреве поверхности электрической дугой обратной полярности, при помощи неплавящегося угольного электрода, и последующего охлаждения проточной водой.

Цель настоящей магистерской работы является изучение изменения структуры и свойств стали при высокотемпературной поверхностной перекристаллизации.

### **Основное содержание работы**

**Описание процесса «Научные исследования».** При помощи блока управления электрод подводится к образцу, в момент касания зажигается дуга. Автоматика стабилизирует горение дуги. Величина дугового зазора 1 мм. Электрическая дуга расплавляет приповерхностную область металла до 1500<sup>0</sup>С, образуя ванну расплавленного металла [1].

При использовании электрической дуги обратной полярности, горение которой достигается угольным электродом диаметром 8-10 мм, напряжением горения 28-30 В и при силе тока 200 А, была выявлена неравномерность свойств упрочняемого металла за счет неустойчивого горения дуги. В связи с этим было проведено исследование методов и способов повышения диапазона устойчивости горения дуги, которое заключалось в следующем [2].

За критерий стабильности горения дуги был принят диапазон скоростей перемещения изделия, при этом минимальная скорость должна обеспечивать глубину проплавления не более 5 мм.

Повышение тока до 300 А позволило стабилизировать горение дуги в диапазоне скоростей 6-7 мм/сек. Анализ показал, что неустойчивое горение дуги связано с низкой скоростью прогрева металла перед перемещаемым электродом. Вследствие недостаточно нагретой поверхности перед электродом образуется слой углерода, который препятствует прогреву металла на требуемую глубину.

Для устранения недостатка этого метода было предложено ввести дополнительный электрод с целью предварительного подогрева поверхностей стальных изделий (рисунок 1).

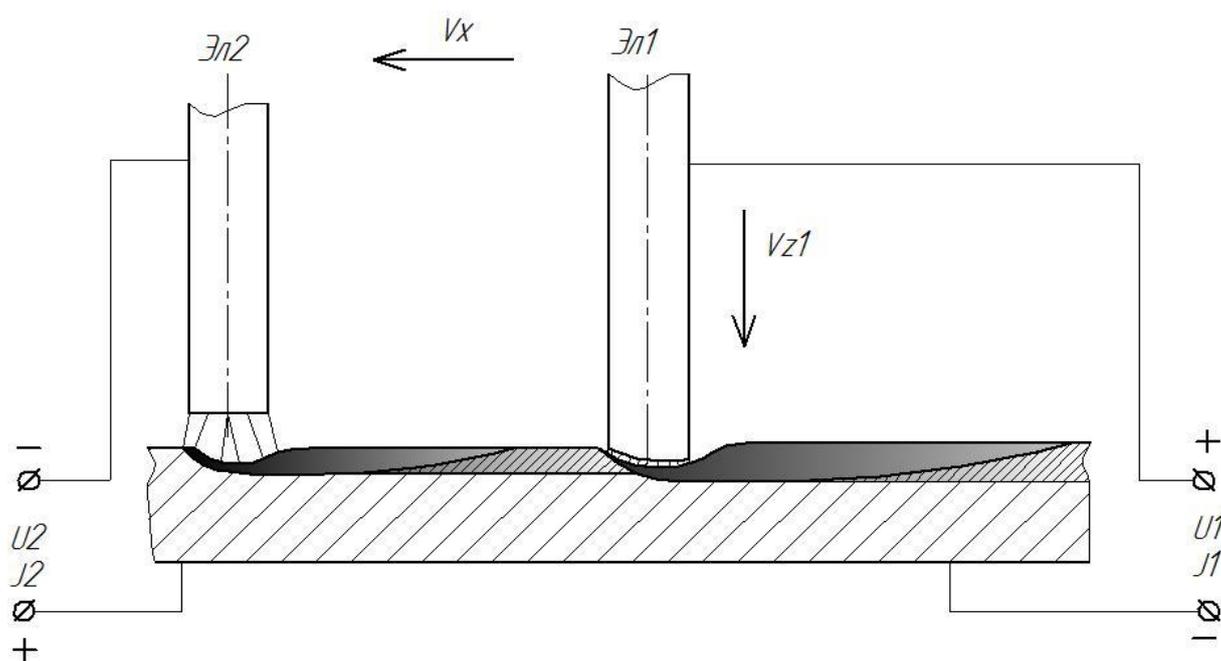


Рисунок 1 – Схема установки после введения дополнительного электрода

Угольный электрод Эл1 и электрическая дуга обратной полярности ( $U_1=25-35В$ ,  $I_1=400А$  max), а также угольный электрод Эл2 и электрическая дуга прямой полярности ( $U_2=40В$ ,  $I_2=250А$  max), перемещаются вдоль упрочняемой поверхности со скоростью  $V_x$ . Износ угольного электрода Эл1 компенсируется перемещением электрода в направлении упрочняемой поверхности со скоростью  $V_{z1}$  равной скорости износа. Скорость  $V_{z1}$  поддерживается при помощи автоматической электромеханической системой АРНД (автоматическая регулировка напряжения дуги). Система АРНД состоит из механизма линейного перемещения и электронного блока. Электронный блок управляет перемещением электрода путем сравнения напряжения на горячей дуге  $U_d$  с заданным опорным напряжением  $U_0$ . Движение электрода начинается с момента  $U_d - U_0 = 0,2В$  или  $U_d - U_0 = -0,2В$ , при этом скорость  $V_{z1}$  увеличивается или уменьшается пропорционально значению  $U_d - U_0$ . При коротком замыкании электрода на изделие  $U_d=0$ , происходит отвод электрода от упрочняемой поверхности с максимальной скоростью, что приводит к возбуждению электрической дуги [3, 4].

Во время горения дуги происходит массоперенос углерода с электрода на поверхность и приповерхностную область стали. Образуя тем самым высокоуглеродистый шов. Твердость которого в несколько раз выше. Данный шов предназначается для металлов с высоким абразивным износом. На рисунке 2 изображена дуга на рабочей установке.

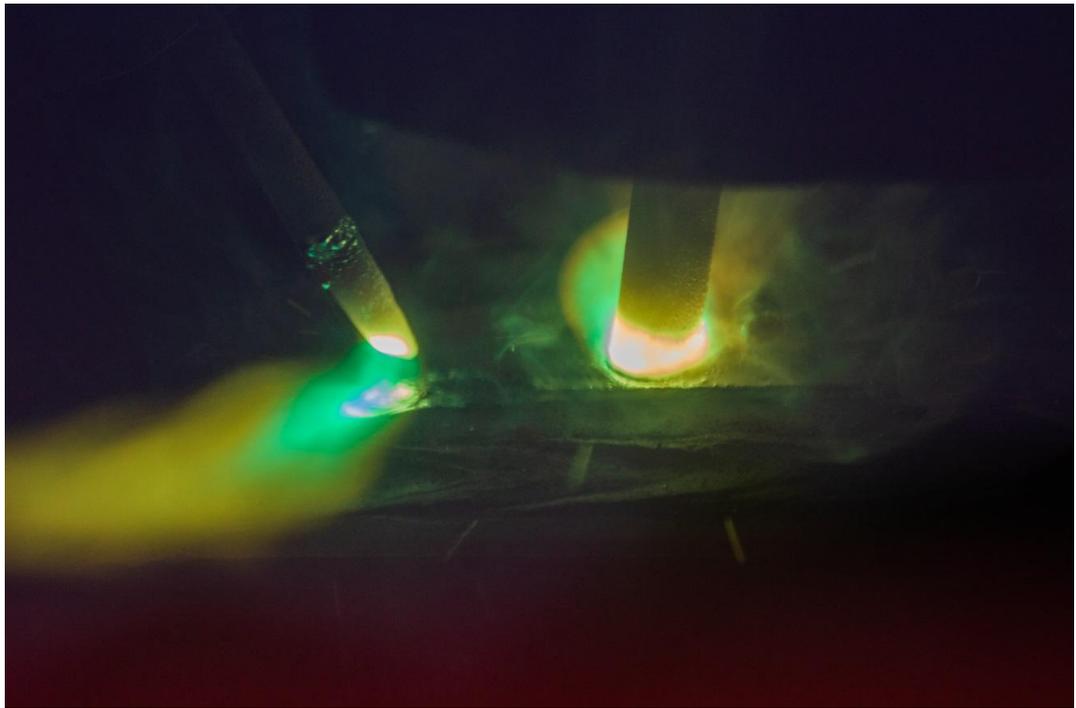


Рисунок 2 – Электрическая дуга на рабочей установке

Была получена зависимость глубины проплавления от скорости движения металла, так же измерена твердость. Все данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

Глубина проплавления, мм	2	3	4	5
Скорость движения образца, мм/сек	14	11	9	6
Твердость, HRC	55	54	57	60

В ходе исследований исследовалась структура металлов на поперечном шлифе, на котором можно было наблюдать структуру исходного металла, в области перекристаллизации и переходной области.

На установке Qantron Magellan (Magellan Q8) мы проводили химический анализ всех образцов. В магистерской работе представлены результаты.

Из представленных результатов можно наблюдать, что изменение происходит только по углероду. Легирующие добавки и редко-земельных металлы в исходном и получаемых структурах нет.

Твердость исходной стали 8-10 HRC. После проведения эксперимента твердость повысилась до 47 HRC. Ток на источнике 250 А, напряжение горение дуги 36 В. Закалка не проводилась.

На рисунке 3 образец твердостью 60 HRC. Перекристаллизация происходила при силе тока 250 А и напряжение горение дуги 36 В. Была произведено охлаждение в проточной в воде сразу после перекристаллизации.

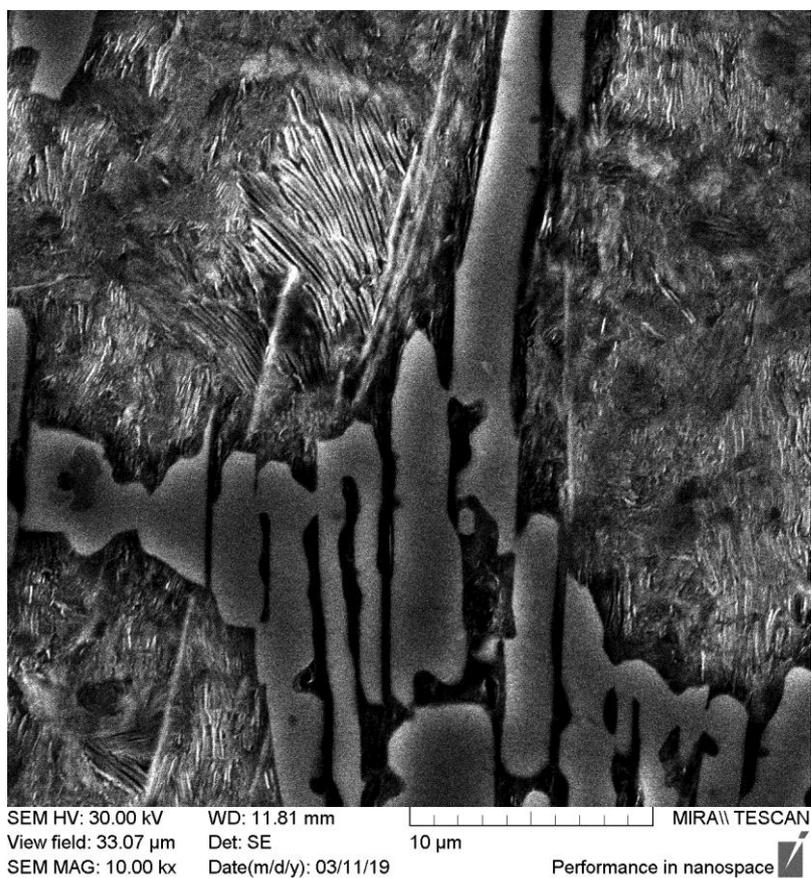


Рисунок 3 – Структура образца при скорости перемещения 6 мм/с

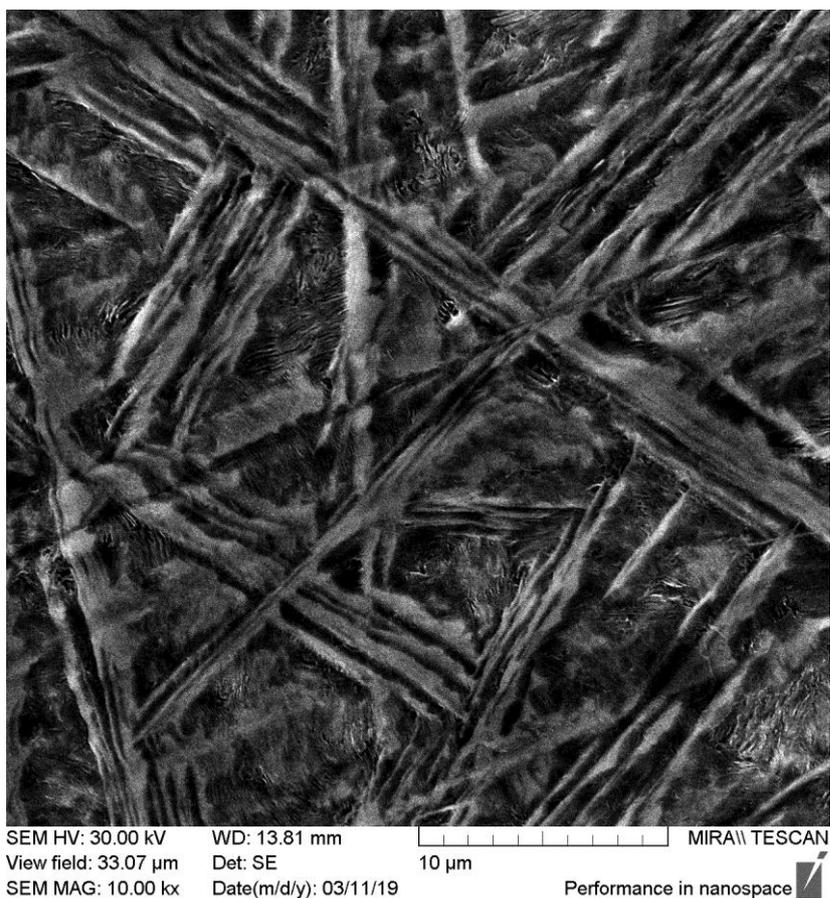


Рисунок 4 – Структура образца при скорости перемещения 14 мм/с

На рисунке 4 самая высокая скорость перекристаллизации. Можно наблюдать мартенситную структуру, полученную в результате избытка углерода. Увеличение скорости перекристаллизации ведет к увеличению зерен с игольчатым мартенситом.

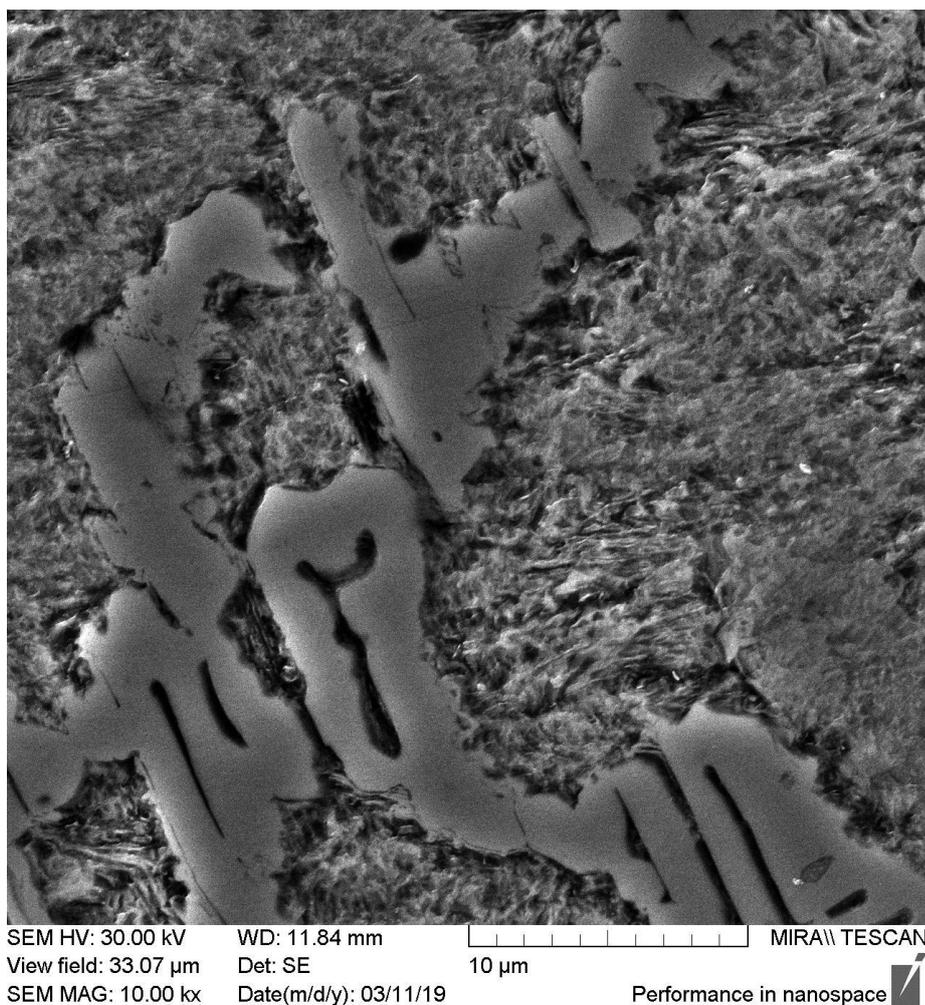


Рисунок 5 – Структура образца при скорости перемещения 6 мм/с, без закалки

На рисунке 5 представлен образец без быстрого охлаждения. Твердость структуры 47 HRC.

В результате стабилизации энергообеспечения высокотемпературной перекристаллизации увеличился диапазон рабочих скоростей, по итогу можно регулировать глубину проплавления.

Структура полученных образцов была исследована методом сканирующей электронной микроскопии с помощью растрового электронного микроскопа (СЭМ).

В результате проведенных исследований было установлено, что после высокотемпературной перекристаллизации ферритно-перлитная структура исходного сплава (твердость HRC 12) превращается в карбидно-мартенситную.

**Заключение.** В ходе научно-исследовательской работы были реализованы все поставленные задачи задачи:

1. Методом высокотемпературной перекристаллизации получены образцы с различной твердостью.

2. Сделаны и обработаны шлифы для исследования полученных образцов.

3. Исследованы результаты химического состава получаемых структур опико-эмиссионным спектральным анализом.

4. Стабилизировано энергообеспечение процесса высокотемпературной перекристаллизации стали.

5. Проведено исследование структур методом сканирующей электронной микроскопии с помощью растрового электронного микроскопа (СЭМ).

В результате проведенных исследований было установлено, что после высокотемпературной перекристаллизации ферритно-перлитная структура исходного сплава (твердость HRC 12) превращается в карбидно-мартенситную (твердость HRC 60), предопределяющую все эксплуатационные свойства поверхности образца.

После введения дополнительного электрода было получено стабильное горение дуги, в результате чего расширился диапазон скоростей перемещения изделия, была получена зависимость глубины проплавления от скорости движения металла, а также получена структура с необходимыми физико-механическими свойствами

Использование данного предложения на установке позволило расширить номенклатуру изделий с получением высокого качества обработанной поверхности.

Можно выделить основные преимущества введения дополнительного электрода для предварительного нагрева металла, а именно: стабилизация горения электрической дуги, увеличение равномерности структуры и скорости обработки.

Таким образом, разработанная технология и созданная специальная установка для высокотемпературной перекристаллизации низкоуглеродистых

сталей позволяет изменять химический состав, структуру и свойства материала различных частей деталей ответственного назначения. Достижение этой цели дает возможность решать проблемные вопросы различных отраслей науки и техники.

Ряд положений данной работы докладывалось на XXXIX Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий (г. Миасс).

Также одобрен патент на изобретение № 2018137736, МПК C23C8/22; C21D1/78 «СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ».

#### **Список использованных источников**

1 Михеев, А. Е. Упрочнение металлических поверхностей электрической дугой / А. Е. Михеев, А. В. Гирн, С. С. Ивасев, Р. В. Карпов. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2005. № 3. - 220-223 с.

2 Аникин, А. А. Способы модификации стали / А. А. Аникин, А. Г. Жуков, Н. Н. Киреев, В. Т. Черепин // Изв. Вузов. Черная металлургия. – 1978. – №8. – С. 123-125.

3 Патент РФ № 2420601. Способы упрочнения лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий / А. А. Аникин, В. В. Тимофеев, С. Б. Елютин. C21D9/18, C21D5/00. Заявл. от 09.03.2010. Оpubл. 10.06.2011. Бюл. № 16.

4 Аникин, А. А. Упрочнение рабочих поверхностей деталей за счет высокотемпературной перекристаллизации / А. А. Аникин // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2011. - Т. 4, № 2 (60). - С. 127-129.