

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ  
ДЛЯ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ**

**СЕМЕНЧЕНКО М. В.**

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;  
г. Новополоцк, Республика Беларусь)*

*Рассмотрен процесс совершенствования лабораторной установки для диффузионного насыщения и термической обработки стальной проволоки. Указаны возможные режимы обработки, способы подачи проволоки в зону термического воздействия.*

**Ключевые слова:** *проволока, диффузионное насыщение, установка, электроконтактный нагрев, термическая обработка.*

Диффузионное насыщение порошков и проволоки представляется перспективным направлением изготовления материалов для последующей наплавки или напыления. Обработка в условиях печного нагрева требует много времени. Для получения диффузионно-легированных металлических порошков с использованием химико-термической обработки разработаны эффективные приемы интенсификации процесса, установлены особенности структурообразования [1; 2]. Для диффузионного насыщения стальной проволоки представляется перспективным использование электроконтактного нагрева как источника тепла. Ранее выполненные исследования свидетельствуют о существенном ускорении процесса диффузионного насыщения [3].

Был разработан способ диффузионного насыщения стальной проволоки путем непосредственного пропускания электрического тока через изделие в режиме термоциклирования [4], позволяющий изготовить проволочный материал с низким градиентом легирующего элемента по поперечному сечению при его достаточной концентрации, и оборудование для его реализации [5].

У первой лабораторной установки в качестве токоподводящих элементов использовались пластины из сплава на медной основе. Производилась обработка неподвижной проволоки ограниченной длины либо реализовывалась ее ступенчатая подача в зону обработки. Режим термоциклирования реализовывала пара компаратор и тиристор. Выявленные в процессе последующей эксплуатации недостатки стали причиной модернизации оборудования, улучшавшей его технические характеристики.

Внесенные конструктивные изменения [6] позволили вести обработку проволоки с непрерывной, ступенчатой подачей в зону обработки и неподвижных отрезков. Обрабатываемая проволока пропусклась через контейнер с насыщающей смесью со скоростью до 0,1 м/мин. Вместо токоподводящих пластин стали использоваться токопроводящие ролики. Проводилась термическая обработка стальной проволоки, подвергнутой борированию в условиях печного нагрева. Внесенные изменения позволили пропускать электрический ток через проволоку циклически с длительностью импульса (нагрева) 1–10 секунд и длительностью паузы (охлаждения) 1–3 секунд при рабочем напряжении 16,8 В. Величина силы тока зависела от химического состава обрабатываемого материала и составляла от 15 до 30 А.

Диффузионное насыщение стальной проволоки диаметром менее 1 мм на указанных режимах была затруднена. Под действием высокой температуры наблюдалось ее плавление с последующим разрушением. Для сохранения стабильной работы установки приходилось увеличивать длину обрабатываемого участка либо скорость подачи проволоки в зону обработки для уменьшения оказываемого термического воздействия.

Последующая модернизация позволила предложить установку (рисунок 1), для диффузионного насыщения проволоки с диаметром менее 1 мм путем непосредственного пропускания тока через изделия в режиме термоциклирования с продолжительностью нагрева или охлаждения менее 1 секунды [7; 8]. Она состоит из трансформатора 1, устройства контроля физических параметров 2, соединенного с блоком управления, выполненного в виде твердотельного реле 3, соединенного с контроллером 4, подключенным к источнику питания 5 на 12 В, контейнера с насыщающей смесью 6, на противоположных концах которого расположены токоподводящие попарно сопрягаемые ролики 7, катушки с обрабатываемой стальной проволокой 8, барабана для обработанной проволоки 9.

Порядок работы установки следующий: от размоточного механизма (на схеме не показан), включающего катушку с обрабатываемой стальной проволокой 8 необработанная стальная проволока проходит контейнер 6 с насыщающей смесью с заданной постоянной скоростью или подается ступенчато с заданным шагом в зону обработки. Трансформатор 1, работающий от сети 220 В, обеспечивает подачу тока на токоподводящие ролики 7. Контроллер 4, соединенный с твердотельным реле 3, работает от источника питания 5. Сила электрического тока, проходящего через опытный образец, и температура стальной проволоки контролируются с помощью устройства контроля физических параметров 2.

Термоциклирование обеспечивается парой твердотельное реле 3 – контроллер 4. Контроллер 4, работающий от источника питания 5, позволяет задать время нагрева и охлаждения образца во время обработки от 0,01 до 999 секунд. При поступлении управляющего сигнала от контроллера 4 твердотельное реле 3

разрывает цепь. Испытуемый образец охлаждается. После завершения заданного времени охлаждения контроллер 4 отправляет сигнал на твердотельное реле 3. Цепь замыкается. Испытуемый образец начинает нагреваться. Цикл обработки повторяется.

Режим обработки выбирается в зависимости от диаметра проволоки, ее химического состава, химического состава насыщающей смеси, требуемого уровня термического воздействия. Для выбора режима используется специальное электронное табло. Величина силы тока может быть увеличена до 100 А, что позволяет увеличить диаметр обрабатываемого проволочного материала и длину обрабатываемого участка. Скорость движения в базовом исполнении составляет 10 см/мин. Однако при необходимости может быть изменена. Величина напряжения регулируется. Составляет 3–32 В.

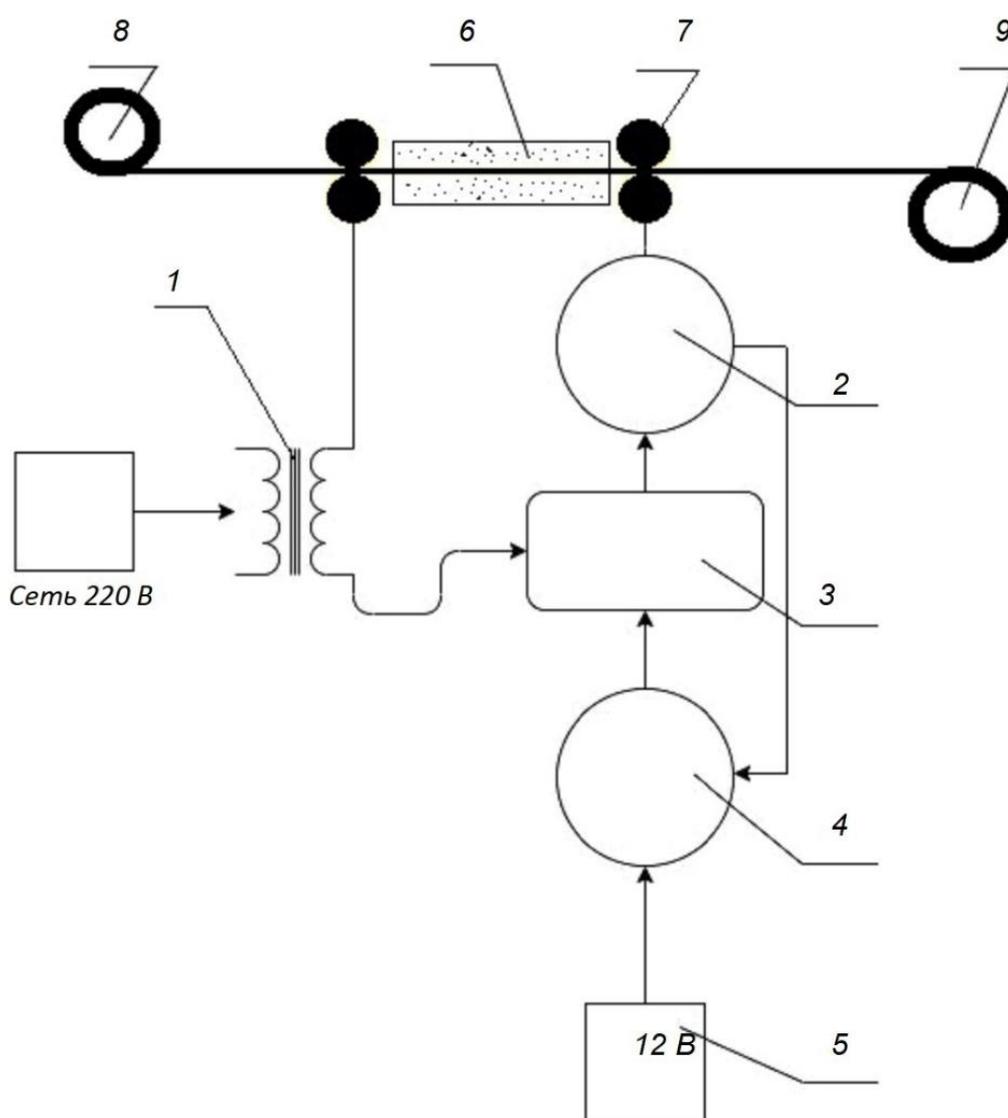
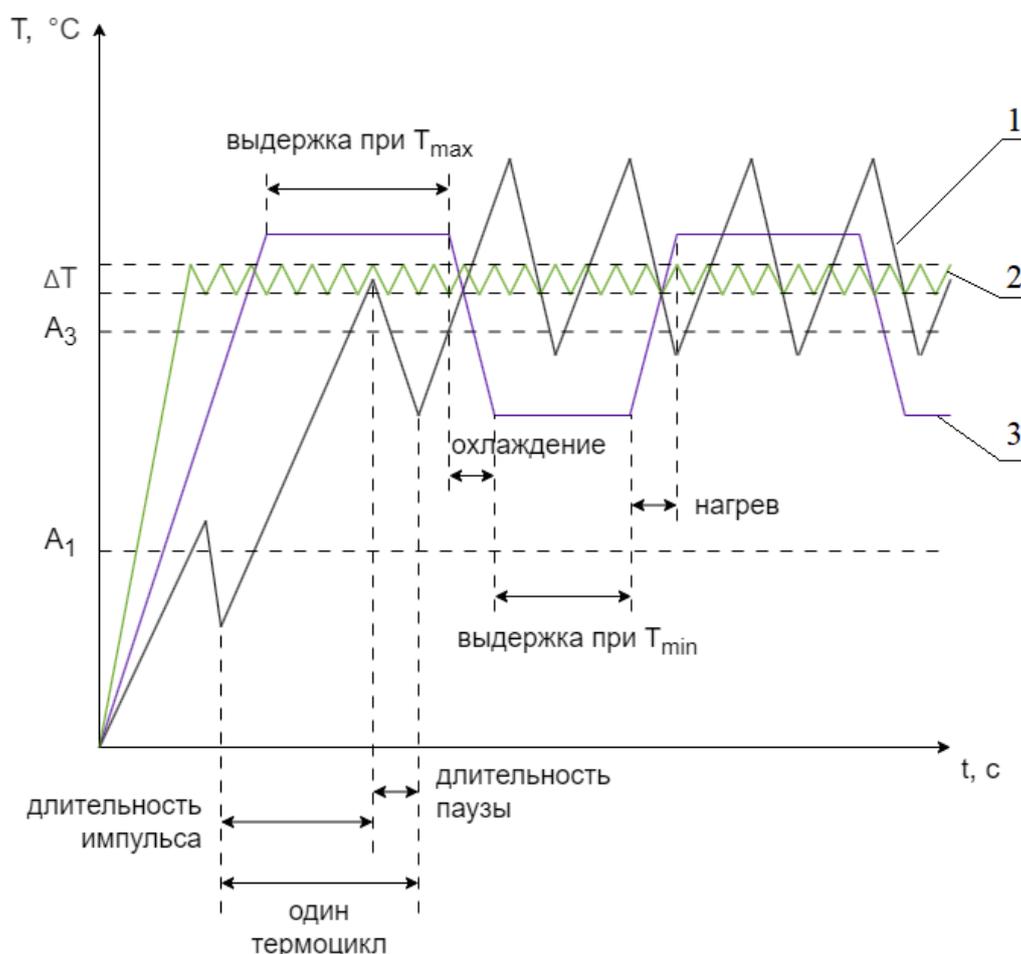


Рисунок 1. – Схема лабораторной установки для диффузионного насыщения проволоки

При разработке конструкции лабораторной установки была проанализирована возможность изменения порядка подачи проволоки в зону обработки и оказываемого термического воздействия. Доступна реализация трех основных режимов обработки (рисунок 2).



**Рисунок 2. – Реализуемые режимы обработки: 1 – маятниковая схема со значительной разницей между температурой нагрева и охлаждения; 2 – ступенчатая обработка с выдержкой при максимальной и минимальной температуре обработки; 3 – обработка с изменением температуры в ограниченном интервале  $\Delta T$**

Предложенная лабораторная установка для диффузионного насыщения проволоки путем непосредственного пропускания электрического тока в режиме термоциклирования позволяет провести обработку стальной проволоки для получения экономнолегированного материала с заданным химическим составом. Его в будущем можно использовать в качестве присадочного материала при формировании защитных покрытий или как самостоятельное изделие.

Переход от пары компаратор – тиристор к паре контроллер – твердотельное реле при реализации режима термоциклирования позволил заменить аналоговый сигнал на цифровой. Это повысило точность обработки, быстродействие

блока управления. Уменьшилось время, затрачиваемое на переход с режима нагрева на режим охлаждения. Величина силы тока, проходящего через проволоку, контролируется устройством контроля физических параметров, что дополнительно повышает точность оказываемого термического влияния.

Разработана новая лабораторная установки, позволяет выбрать управляющее напряжение из диапазона 3–32 В при максимальной силе тока 100 А, длительности импульса и паузы 0,01–999 секунд. Это делает возможным обработку проволоки с диаметром менее 1 мм.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Константинов В.М. Ускоренная диффузия легирующих элементов в железе при химико-термической обработке порошков во вращающемся контейнере // Доклады НАН Беларуси. 2007. – Т. 51, № 2. – С. 103–107.
2. Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Особенности диффузионных процессов при борировании стальных порошков // Весці АНБ, Серыя ФТН. – 1997. – №1. – С.8-11.
3. Семенченко, М.В. Повышение производительности диффузионного насыщения проволоки путем электроконтактного нагрева в режиме термоциклирования / М.В.Семенченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2018. – № 11. – С. 78–82.
4. Способ диффузионного насыщения стальной проволоки: Патент на изобретений № 13370 МПК (2009) С 23С 8/00, С 23С 10/00, С 23D 1/34 – В.М. Константинов, М.В. Семенченко, В.Г. Дашкевич, А.С. Губанов; заявитель УО «Полоц. гос. ун-т» № а 20080742 заявл. 05.06.08. – Оpubл. 30.06.2010.
5. Семенченко, М.В. Электро-химико-термическая обработка проволоки для защитных покрытий: дис. магистра техн.наук: 05.02.01 «Материаловедение в машиностроении» / М.В. Семенченко; УО «Полоц. гос. ун-т»: Новополоцк, 2002. – 70 с.
6. Установка для электротермической обработки проволоки: Патент на полезную модель № 696 МПК 7 С21D 1/40. – В.М. Константинов, А.С. Губанов, С.Н. Абраменко, М.В. Семенченко; заявитель УО «Полоц. гос. ун-т» № и 20020065; заявл. 05.03.02. – Оpubл. 30.12.02.
7. Семенченко, М.В. Совершенствование оборудования для диффузионного насыщения проволоочного материала / М.В. Семенченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – № 3. – С. 27–31.
8. Установка для диффузионного насыщения стальной проволоки: заявка ВУ а 20220105 / М.В. Семенченко; заявитель УО «Полоц. гос. ун-т»; заявл. 20.04.22. – Оpubл. 30.12.23.