

УДК 621.785.545

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА

М.В. СЕМЕНЧЕНКО

(Полоцкий государственный университет)

Предложена установка для диффузионного насыщения проволоки путем непосредственного пропуска электрического тока через изделие в режиме термоциклирования по маятниковой схеме. Оборудование позволяет вести обработку путем непрерывной и ступенчатой подачи проволоки. Возможна термическая обработка проволоки, ранее подвергнутой диффузионному насыщению, в печи для перераспределения легирующих элементов и улучшения качества поверхностного слоя. Замена пары тиристор–компаратор твердотельным реле позволило заменить аналоговый сигнал цифровым. Кроме того, стало возможным возможным насыщение проволоки с диаметром менее 1 мм с точностью выставления продолжительности нагрева и охлаждения до 0,01 с при максимальной силе тока, пропускаемого через обрабатываемый проволочный материал, 100 А. Ранее минимальная продолжительность нагрева составляла 1 с при максимальной силе тока 30 А. Предусмотрена возможность контроля физических параметров процесса диффузионного насыщения проволоки, проволочных материалов.

Ключевые слова: установка, проволока, диффузионное насыщение, термоциклирование, пропускание электрического тока, порошковая среда.

Введение. Для формирования защитных покрытий производители предлагают широкую номенклатуру материалов. Это позволяет подобрать проволоку с подходящим химическим составом для обработки поверхности, работающей в заданных условиях. Сопротивляемость внешнему воздействию и долговечность формируемого слоя зависят от количества легирующих элементов и соблюдения технологии нанесения защитного слоя. Стоимость высоколегированного материала делает экономически невыгодным упрочнение или восстановление дешевых малоресурсных деталей. В сложившихся экономических условиях многие руководители сознательно отказываются от закупки различных марок проволоки, т.к. у предприятий нет экономической возможности для приобретения большого количества расходных материалов либо они считают такой подход нерациональным расходом средств.

В качестве альтернативного варианта может выступать закупка дешевой углеродистой проволоки с ее последующим диффузионным насыщением необходимыми легирующими элементами. Добиться этого можно путем подбора состава насыщающей смеси и режимов термического воздействия¹.

Использование печного нагрева представляется трудоемким и неэффективным. Располагая необходимым оборудованием, предприятие должно изготовить специальные контейнеры², конструктивное исполнение которых разрешает добиться равномерного распределения легирующих элементов в поверхностном слое в продольном и поперечном направлении. Однако их использование позволит изготовить проволоку ограниченной длины, что в некоторых случаях усложняет процесс формирования защитного покрытия и ограничивает возможную область использования легированного материала. Кроме того, налипание частиц насыщающей среды ухудшает качество поверхностного слоя и усложняет процесс формирования защитного покрытия на детали. Требуется последующая термическая обработка для перераспределения легирующих элементов по объему проволочного материала и снижения вероятности скалывания сформированного слоя.

Подобного недостатка лишен способ диффузионного насыщения проволоки путем непосредственного пропуска электрического тока через проволочный материал в режиме термоциклирования³ [1; 2]. Способ обеспечивает диффузионное насыщение поверхностного слоя проволоки различной длины и диаметра, позволяя изготовить материал с низким градиентом легирующего элемента по поперечному сечению, но достаточной концентрации.

Основная часть. Нами проводилось диффузионное насыщение проволоки Св 08Г2С ГОСТ 2246-80 диаметром 1,2 мм бором, титаном и алюминием [3]. Диффузионное насыщение проволоки бором осуществляли в порошке ферробора ФБ 17 (17% В) ГОСТ 14848-69 и смеси, состоящей из 99% В4С + 1% NaF, титаном –

¹ Boride hard-facing : pat. US 4172162, C23F 7/00 / Ronald H. Smith. – Publ. date Oct. 23, 1979.

² Контейнер для химико-термической обработки проволоки : полез. модель РБ 695В 21F 21/00 / В.М. Константинов, А.С. Губанов, Ф.И. Пантелеев, М.В. Семенченко. – Оpubл. 30.12.02.

³ Способ диффузионного насыщения стальной проволоки : пат. № 13370 МПК (2009) С 23С 8/00, С 23С 10/00, С 23Д 1/34 / В.М. Константинов, М.В. Семенченко, В.Г. Дашкевич, А.С. Губанов. – Оpubл. 30.06.2010.

в порошке ферротитана ФТи 35 (35% Ti) ГОСТ 4761-91, алюминием – в смеси, состоящей из оксида алюминия (Al_2O_3) и чистого алюминия (Al). Электрический ток пропускали через проволоку циклически с длительностью импульса 1–10 с и длительностью паузы 1–3 с. Обработка производилась по маятниковой схеме, исключающей выдержку обрабатываемого проволочного материала при максимальной и минимальной температурах. Нагрев и охлаждение выполнялись непрерывно в течение заданного временного интервала.

Для реализации способа электротермической обработки проволоки путем непосредственного пропускания электрического тока в режиме термоциклирования нами разработана специальная установка⁴ (рисунок 1).

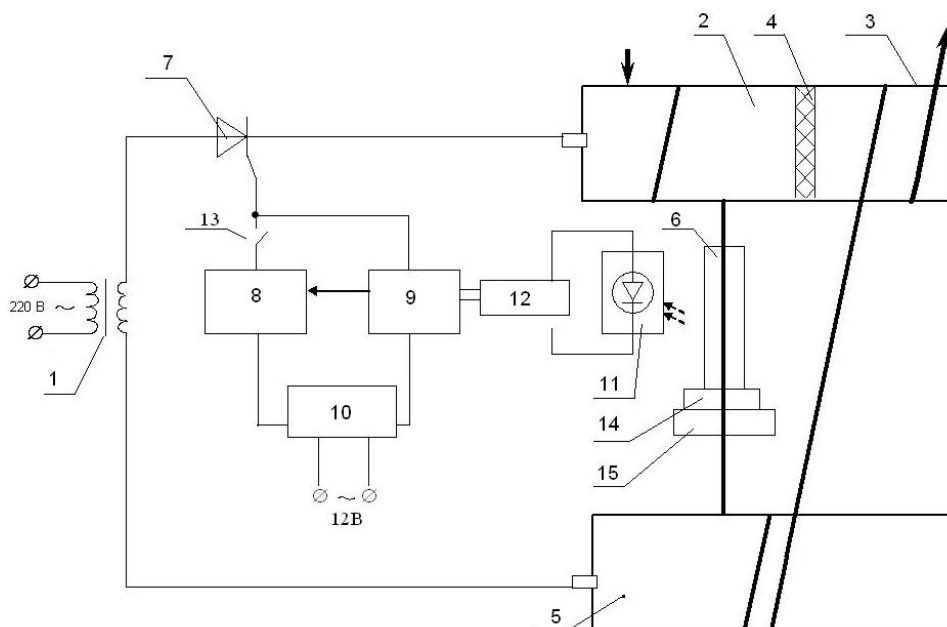


Рисунок 1. – Установка для диффузионного насыщения проволоки

Установка содержит трансформатор 1, верхний электроконтактный цилиндр 2 с частью 3, электрически изолированной с помощью диэлектрической прокладки 4, нижний электроконтактный цилиндр 5, трубку для защитного газа (насыщающей среды) 6, регулятор (тиристор) 7, формирователь управляющих импульсов 8, двухуровневый компаратор 9, источник питания 10, оптический пирометр 11, усилитель 12, переключатель 13, узел охлаждения 14, узел сушки 15.

Установка позволяет проводить непрерывную термическую обработку и диффузионное насыщение проволоки с поддержанием температуры материала в заданных пределах двухуровневым компаратором 9 при разомкнутом переключателе 13 и вести обработку в режиме термоциклирования при замкнутом переключателе 13. Формирователь управляющих импульсов 8, отправляя команды двухуровневому компаратору 9, позволяет поддерживать температуру в заданных пределах.

Порядок работы установки следующий: от размоточного механизма (на схеме не показан) проволока, движущаяся непрерывно с постоянной скоростью, выбираемой с учетом требуемой концентрации легирующего элемента, многократно поступает на верхний электроконтактный цилиндр 2. С верхнего электроконтактного цилиндра 2 проволока проходит через трубку для защитного газа (насыщающую среду) 6, узел охлаждения 14, узел сушки 15 и снова многократно поступает на нижний электроконтактный цилиндр 5. Напряжение на электроконтактные цилиндры подается от трансформатора 1. Далее проволока по восходящей ветви поступает на часть 3 верхнего электроконтактного цилиндра 2, электрически изолированную от остальной его части диэлектрической прокладкой 4, и на приемник (на схеме не показан). Температура в обрабатываемом изделии фиксируется оптическим пирометром 11, соединенным через усилитель 12 с двухуровневым компаратором 9, который (при разомкнутом переключателе 13) через регулятор 7 поддерживает температуру проволоки в заданных пределах.

Термоциклическая обработка проволоки обеспечивается формирователем управляющих импульсов 8 (задает амплитуду, продолжительность импульса, паузу между импульсами), соединенным с регулятором 7, который подключен к трансформатору 1 и верхнему электроконтактному цилиндру 2, и двухуровневым компа-

⁴ Установка для электротермической обработки проволоки : полез. модель № 696 МПК 7 C21D 1/40 / В.М. Константинов, А.С. Губанов, С.Н. Абраменко, М.В. Семенченко. – Опубл. 30.12.02.

ратором 9, поддерживающим температуру в заданных пределах. В этом режиме (переключатель 13 замкнут) двухуровневый компаратор увеличивает продолжительность паузы формирователя управляющих импульсов при повышении температуры проволоки выше заданного максимального предела и продолжительность импульса при понижении температуры ниже заданного минимального предела.

Обеспечивая непрерывную обработку, предложенная установка не подходит для диффузионного насыщения отжига проволочного материала с высоким градиентом легирующего элемента по поперечному сечению из-за необходимости наматывания проволоки на электроконтактные цилиндры. Наблюдалось скалывание диффузионного слоя, приводящее к уменьшению концентрации легирующего элемента в формируемом покрытии.

Устранить подобный недостаток позволила лабораторная установка для диффузионного насыщения проволоки (рисунок 2) путем непосредственного пропускания электрического тока через проволочный материал в режиме термоциклирования, состоящая из трансформатора 1, контейнера с насыщающей смесью 2, токопроводящих роликов 3, блока управляющих импульсов 4, включающего компаратор, регулятора 5 (тиристора).

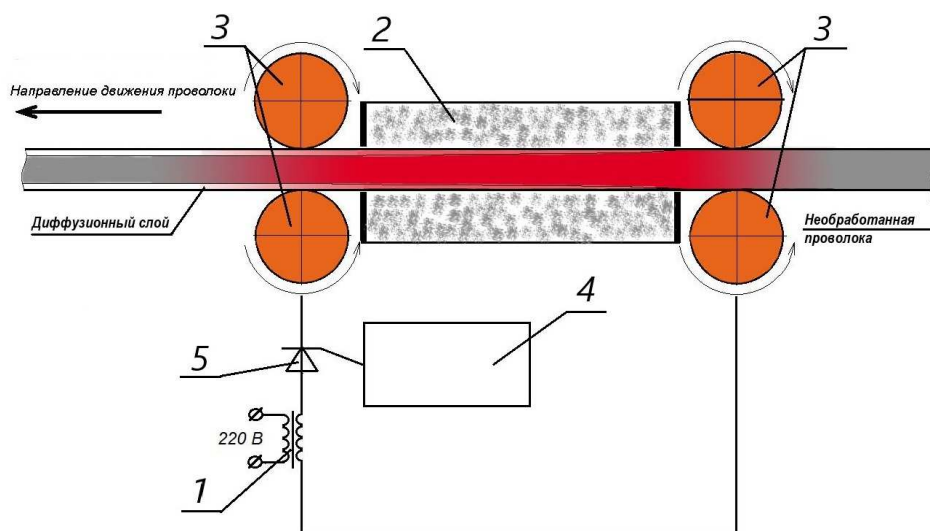


Рисунок 2. – Схема лабораторной установки для диффузионного насыщения проволоки

Работает установка следующим образом: необработанная проволока проходит контейнер 2 с насыщающей смесью со скоростью до 0,1 м/мин. К токопроводящим роликам 3 подается электрический ток от трансформатора 1. Блок управляющих импульсов 4 через регулятор 5 обеспечивает реализацию режима термоциклирования. Электрический ток пропускают через проволоку циклически с длительностью импульса (нагрева) 1–10 с и длительностью паузы (охлаждения) 1–3 с. Сила тока меняется от 15 до 30 А, напряжение составляет 16,8 В. Мгновенное значение температуры контролировалось с помощью оптического пирометра.

Установка позволила реализовать режим ступенчатого и непрерывного диффузионного насыщения поверхностного слоя обрабатываемого материала. В первом случае подача проволоки в зону обработки производилась через заданный отрезок времени (время обработки) на длину обработки (нагрева), равную расстоянию между токопроводящими роликами 3. Во втором – непрерывно с постоянной скоростью, выбираемой с учетом требуемой продолжительности воздействия на каждый микрообъем обрабатываемого проволочного материала.

Проведенные исследования показали, что из-за возможности регулирования продолжительности нагрева в пределах 1–10 с и охлаждения 1–3 с затруднен подбор режима термического воздействия для проволоки диаметром менее 1 мм. При продолжительности импульса от 1 с проволока перегорала, не позволяя произвести термическую обработку или диффузионное насыщение поверхностного слоя для получения заданной концентрации легирующего элемента. Для снижения уровня энергетического воздействия приходилось увеличивать длину обрабатываемого участка и, следовательно, продолжительность обработки каждого микрообъема материала или скорость подачи для уменьшения продолжительности оказываемого термического воздействия.

Нами предложена установка (рисунок 3), позволяющая реализовать диффузионное насыщение проволоки с диаметром менее 1 мм путем непосредственного пропускания тока через изделия в режиме термоциклирования с продолжительностью нагрева или охлаждения менее 1 с. Она состоит из силового трансформатора 1, устройства контроля физических параметров 2, твердотельного реле 3, контроллера 4, источника питания на 12 В 5, токоподводящих роликов 6, контейнера с насыщающей смесью 7.

Работает установка следующим образом: необработанная проволока проходит контейнер 7 с насыщающей смесью со скоростью до 10 м/мин. Силовой трансформатор 1, работающий от сети 220 В, обеспечивает подачу переменного тока на токоподводящие ролики 6. Контроллер 4 работает от источника питания 5 с напряжением 12 В. Параметры проходящего через опытный образец электрического тока контролируются с помощью устройства контроля физических параметров 2. Силовой трансформатор связан с твердотельным реле 3. Контроллер, работающий от источника питания 5, позволяет задать время нагрева и охлаждения образца во время обработки. Электрический ток пропускают через проволоку циклически с длительностью импульса и длительностью паузы от 0,01 до 999 с. Продолжительность нагрева или охлаждения выбирается в зависимости от диаметра проволочного материала и требуемого уровня термического воздействия. Режим термического воздействия и охлаждения задается пользователем на электронном табло. Максимальная сила тока нагрузки может достигать 100 А, что позволяет увеличить диаметр обрабатываемого проволочного материала. Значение управляющего напряжения 3–32 В.

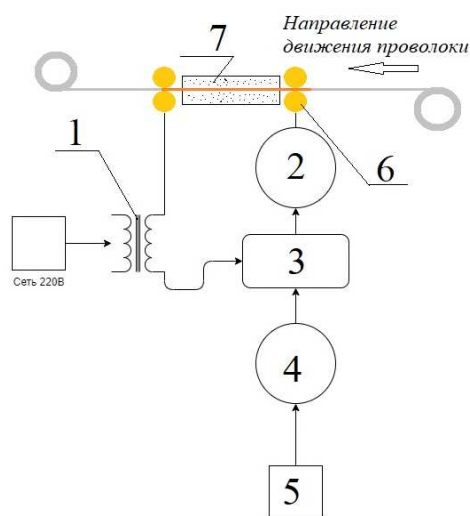


Рисунок 3. – Схема лабораторной установки для диффузионного насыщения проволоки с диаметром менее 1 мм

При поступлении управляющего сигнала от контролера 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.

Результаты и их обсуждение. Предложенные установки для диффузионного насыщения проволочного материала путем непосредственного пропускания электрического тока в режиме термоциклирования могут использоваться для изготовления относительно недорогой проволоки по сравнению со сложнелегированным проволочным материалом. Лабораторные установки не ограничивают длину обрабатываемого проволочного материала. Позволяют производить диффузионное насыщение и отжиг проволоки путем ступенчатой и непрерывной подачи проволоки в зону обработки. Становится возможным непосредственное насыщение поверхностного слоя из порошковой среды и отжиг проволоки, подвергнутой диффузионному насыщению в специальном контейнере в условиях печного нагрева.

Замена пары компаратор–тиристор (см. рисунок 2) твердотельным реле (см. рисунок 3) повысило точность оказываемого температурного воздействия за счет более высокой скорости переключения между режимами нагрева и охлаждения. Вместо аналогового сигнала используется цифровой. Устройство контроля физических параметров позволяет контролировать силу тока, проходящего через обрабатываемый проволочный материал. Полученная экономно-легированная проволока может использоваться не только как присадочный материал при формировании защитного покрытия, но и как готовое изделие. Уменьшение продолжительности термического воздействия на время менее 1 с позволило произвести обработку проволоки диаметром 0,8 мм.

Заключение. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- разработанная ранее установка для электротермической обработки проволоки может использоваться для изготовления экономно-легированной проволоки, подходящей для восстановления или упрочнения дешевых малоресурсных деталей;
- лабораторная установка допускает обработку с длительностью импульса 1–10 с и длительностью паузы 1–3 с. Сила тока меняется от 15 до 30 А, напряжение составляет 16,8 В. Позволяет реализовать непрерывную и ступенчатую подачу проволочного материала в зону обработки;

– предложена новая лабораторная установка, в которой пара тиристор–компаратор заменена твердотельным реле для использования цифрового сигнала вместо аналогового, с диапазоном коммутируемых напряжений 24–380 В, управляющих напряжений 3–32 В, максимальной силой тока 100 А. Длительность импульса и паузы задается из интервала 0,01–999 с. Это делает возможным обработку проволоки с диаметром менее 1 мм без риска перегорания обрабатываемого проволочного материала или формирования диффузионного слоя с недостаточной концентрацией легирующего элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенченко, М.В. Диффузионное насыщение стальной проволоки в условиях электроконтактного нагрева в режиме термоциклирования / М.В. Семенченко // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 32-4. – С. 60–61.
2. Семенченко, М.В. Электроконтактный нагрев в режиме термоциклирования – перспективный способ получения экономно-легированной проволоки [Электронный ресурс] / М.В. Семенченко // Инновационные технологии в машиностроении : электрон. сб. материалов междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 21–22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под ред. чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В.К. Шелега, д-ра техн. наук, проф. Н.Н. Попок. – Новополоцк, 2018. – С. 121–124.
3. Семенченко, М.В. Технологические особенности электроконтактной обработки в режиме термоциклирования / М.В. Семенченко // Инновационные технологии в машиностроении : материалы междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 28–29 окт. 2015 г. / Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. акад., д-ра техн. наук, проф. А.И. Гордиенко, чл.-корр., д-ра техн. наук, проф. В.К. Шелега. – Новополоцк, 2015. – С. 181–183.

REFERENCES

1. Semenchenko, M.V. (2017). Diffuzionnoe nasyshtchenie stal'noj provoloki v usloviyah elektrokontaktного нагрева v rezhime termociklirovaniya [Diffusion saturation of steel wire under conditions of electric contact heating in the thermal cycling mode]. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in the development of science and education]*, 32-4, 60–61. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Semenchenko, M.V. (2020). Elektrokontaktnyj nagrev v rezhime termociklovaniya – perspektivnyj sposob polucheniya ekonomno-legirovannoj pro-vołoki [Electrocontact heating in the thermal cycling mode is a promising way to obtain economically alloyed wire]. *Innovacionnye tekhnologii v mashinostroenii [Innovative technologies in mechanical engineering]* (121–124). Novopolock: Polockij gosudarstvennyj universitet. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Semenchenko, M.V. (2015). Tekhnologicheskie osobennosti elektrokontaktnoj obrabotki v rezhime termociklirovaniya [Technological features of electrocontact processing in the thermal cycling mode]. *Innovacionnye tekhnologii v mashinostroenii [Innovative technologies in mechanical engineering]* (181–183). Novopolock: Polockij gosudarstvennyj universitet. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 17.12.2021

IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR DIFFUSIVE SATURATION OF WIRE MATERIAL

M. SEMENCHENKO

Educational Institution “Polotsk State University” An installation for diffusive saturation of the wire by direct transmission of electric current through the product in the mode of thermal cycling according to the pendulum scheme is proposed. The equipment allows processing by continuous and stepped wire feed. It is possible to heat treat the wire previously subjected to diffusion saturation in a furnace to redistribute the alloying elements and improve the quality of the surface layer. Replacing a thyristor-comparator pair with a solid-state relay made it possible to replace the analog signal with a digital one. Made it possible to saturate a wire with a diameter of less than 1 mm with an accuracy of setting the duration of heating and cooling up to 0.01 seconds at a maximum strength of current passed through the processed wire material, 100 A. Previously, the minimum heating duration was 1 second, and the maximum force current 30 A. The possibility of controlling the physical parameters of the process of diffusion saturation of the wire of wire materials is provided.

Keywords: installation, wire, diffusion saturation, thermal cycling, electric current transmission, powder medium.