

экономить значительную часть металла, но и повысить коммерческую эффективность производства холоднокатаных труб и уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Разработанная технология переработки бывших в употреблении труб холодной прокаткой не требует значительных капиталовложений и позволяет получать трубы с достаточными для их реализации характеристиками. Также не требуется значительных капиталовложений на переоборудования цеха холодной прокатки труб. При этом предложенная технология отличается от стандартной только на этапе подготовки заготовки к прокату, однако в стандартном цеху холодной прокатки имеется всё требующееся для этого оборудование. Изменения вводятся только в те операции технологического процесса, которые касаются подготовки исходной заготовки к первой прокатке на стане ХПТ. Как показала промышленная проверка подобной технологии: полученные подобным способом готовые трубы будут иметь достаточные для их безаварийной эксплуатации параметры качества.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pilipenko, S. V. A deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3Al-2.5V alloy / S. V. Pilipenko, V. U. Grigorenko, V. A. Kozechko, O. O. Bohdanov / *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. – 2021. – № 1. – p. 78–83.
2. Forney, C.E. Ti 3Al 2,5V seamless tubing engineering guide / C. E. Forney, H. S. Schemel. – Washington: Sandvik Special Metals Corp, 1987. – 115 p.
3. Томило, В. А. Утилизация бывших в употреблении труб холодной прокаткой / В. А. Томило, С. В. Пилипенко, А. В. Дудан // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering*. 2022. – Т. – 333, № 8 – С. 118–125.
4. Машины и агрегаты для производства стальных труб. Учебник. / Шевакин Ю. Ф. [и др.]. – М. : Интермет Инжиниринг, 2007.
5. Друян, В. М. Теория и технология трубного производства./ В. М. Друян, Ю. Г. Гуляев, С. А. Чукмасов. – Днепропетровск : Днепр-ВАЛ, 2001. – 544 с.

УДК 621.785.545

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО МАТЕРИАЛА

*Семенченко М. В.*

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

Формирование защитных покрытий предполагает использование широкой номенклатуры материалов. При выборе химического состава проволочного материала учитывают условия последующей эксплуатации упрочняемой или восстанавливаемой детали. Важное значение имеет перечень и процентное содержание легирующих элементов в формируемом слое, соблюдение технологии наплавки или напыления. При упрочнении или восстановлении дешевых мало-ресурсных деталей применение высоколегированного материала не всегда оправдано из-за его высокой стоимости. Покупка проволоки различных марок

в большинстве случаев воспринимается руководством предприятий как нерациональное расходование средств или представляется нецелесообразной в сложившейся экономической ситуации.

Диффузионное насыщение дешевой углеродистой проволоки представляется альтернативным вариантом для получения наплавочного материала с подходящим химическим составом, которым могут воспользоваться предприятия всех форм собственности [1]. Подобрав состав насыщающей смеси и режима термического воздействия, можно обеспечить поступление достаточного количества легирующих элементов в формируемое покрытие. В результате оптимизируются затраты на изготовление проволоки с нужным химическим составом. Становится доступным изготовление широкой номенклатуры проволоочного материала, которая может потребоваться при реализации восстановительных или упрочняющих технологий.

Печной нагрев для диффузионного насыщения проволоочного материала трудоемок и неэффективен. Требуется разработка специальных контейнеров [2], обеспечивающих равномерное распределение легирующих элементов в поверхностном слое, но при этом неизбежно уменьшается протяженность обработанного проволоочного материала. Кроме того, при последующем извлечении обработанной проволоки велика вероятность ухудшения качества сформированного диффузионного слоя с большим процентным содержанием легирующего элемента из-за откалывания отдельных фрагментов. Для предотвращения скалывания при нанесении и перераспределения легирующих элементов по объему выполняется термическая обработка, что неизбежно повышает стоимость обработки.

Способ диффузионного насыщения проволоки путем непосредственного пропускания электрического тока через проволоочный материал в режиме термоциклирования лишен подобных недостатков [3]. Позволяет выполнить обработку проволоки с различными линейными и поперечными размерами. Для его реализации была предложена специальная лабораторная установка [4], схема которой представлена на рисунке 1. Она состоит из трансформатора 1; контейнера с насыщающей смесью 2; токопроводящих роликов 3; блока управляющих импульсов 4; регулятора 5.

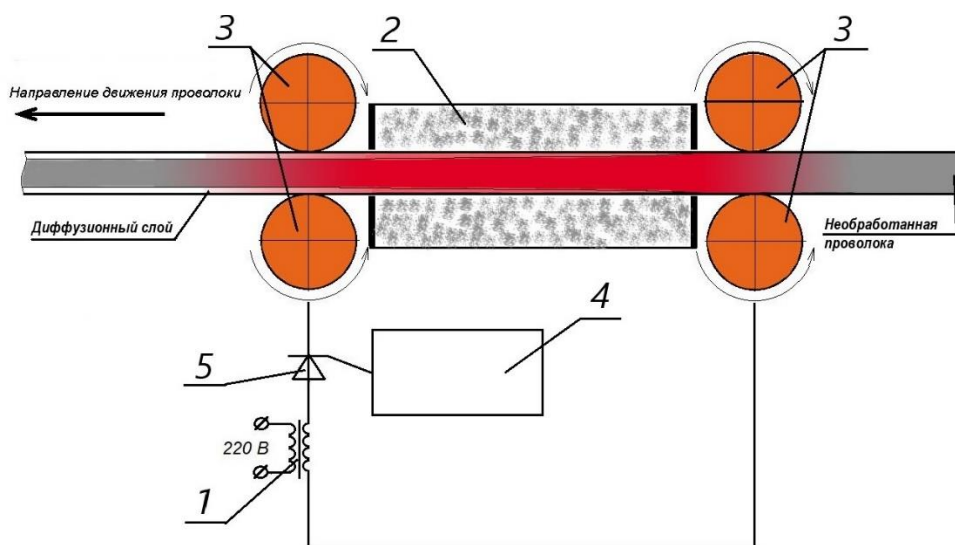


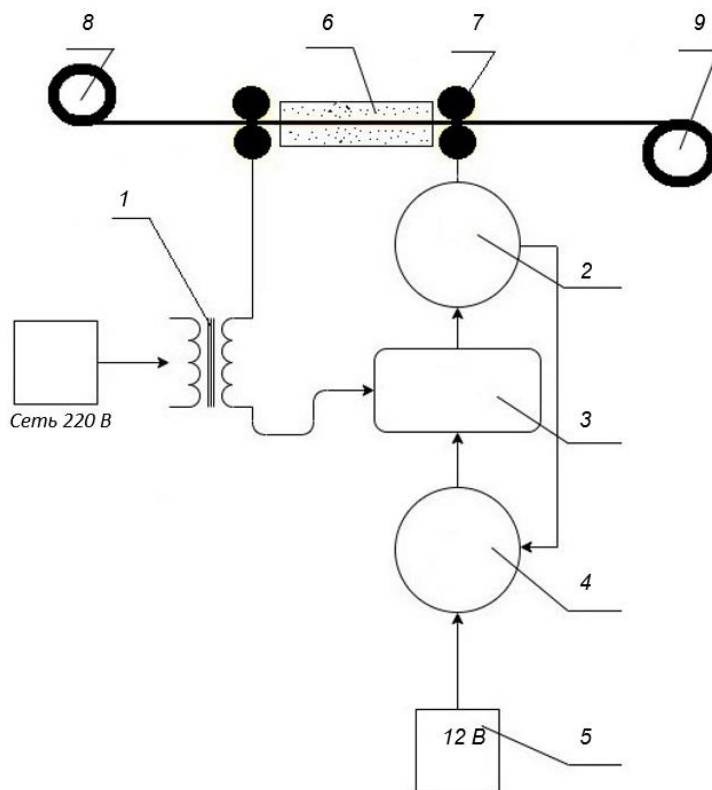
Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для диффузионного насыщения проволоки

Работает установка следующим образом: необработанная проволока проходит контейнер 2 с насыщающей смесью со скоростью  $V = 0 \dots 0.1$  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 1–10 секунд и длительностью паузы 1–3 секунд. Сила тока меняется от 15 до 30 А, напряжение составляет 16,8 В.

Сложность контроля текущих параметров процесса (силы тока, температуры), недостаточная производительность процесса из-за использования аналоговых элементов связи не позволяла получить проволоку с однородным химическим составом или структурой и ограничивала выбор режима обработки. Исключить перечисленные недостатки позволил переход на цифровое управление процессом диффузионного насыщения проволоочного материала.

Была предложена установка [5], состоящая 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 соприкасаемые ролики 7, катушки с обрабатываемой стальной проволокой 8, барабана для обработанной проволоки 9, схема которой представлена на рисунке 2.

Такое исполнение позволяет проконтролировать физические параметры процесса диффузионного насыщения проволоочного материала и существенно расширяет возможности оборудования. Становится возможной реализация диффузионного насыщения стальной проволоки в режиме термоциклирования со ступенчатым изменением режима термического воздействия.



**Рисунок 2 – Схема установки для диффузионного насыщения проволоки**

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. 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.

Ступенчатая обработка в режиме термоциклирования реализуется за счет наличия связи между устройством контроля физических параметров 2 и контроллером 4. При достижении заданных параметров устройство контроля физических параметров 2 отправляет управляющий сигнал на контроллер 4 для изменения режима обработки.

Опытный образец заявляемой установки изготовлен и опробован в научно-исследовательской лаборатории кафедры автомобильного транспорта Полоцкого государственного университета. Испытания подтвердили повышения качества диффузионного насыщения и термической обработки проволоки путем непосредственного пропускания тока через изделие за счет контроля физических параметров процесса и более точного энергетического воздействия на обрабатываемые объекты.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Boride hard-facing: United States Patent 4172162, C23F 7/00 – Ronald H. Smith; заявитель: Materials Development Corporation Заявл. Jun. 25, 1976, Опубл. Oct. 23, 1979.

2. Контейнер для химико-термической обработки проволоки: Патент на полезную модель РБ № 695В 21F 21/00 – В. М. Константинов, А. С. Губанов, Ф. И. Пантелеенко, М. В. Семенченко; заявитель УО «Полоц. гос. ун-т» № u20010301; заявл. 19.12.01; опубл. 30.12.02.

3. Способ диффузионного насыщения стальной проволоки: Патент на изобретения № 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; опубл. 30.06.2010.

4. 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» № u 20020065; заявл. 05.03.02; опубл. 30.12.02.

5. Установка для диффузионного насыщения стальной проволоки: заявка ВУ а 20220105 / М. В. Семенченко.