

**Электрохимическая обработка сварных швов перед
капиллярным контролем с использованием
капиллярно-пористых систем**
*Electrochemical treatment of welds before penetrant testing
with use of capillary-porous systems*

Мигун Н.П., Деленковский Н.В., Гнусин А.Б.
Migoun N.P., Delenkovsky N.V., Gnusin A.B.

Приведены результаты исследований с целью обеспечения возможности проведения электрохимической обработки сварных швов во внецеховых условиях без подачи и при ограниченной подаче электролита. Предложен способ обработки, основанный на применении двухслойных капиллярно-пористых систем на основе поролона и хлопчатобумажных тканей. Установлены оптимальные параметры таких систем, разработаны и изготовлены соответствующие устройства.

The results of researches of welds electrochemical treatment in out-doors conditions without electrolyte supply are presented. A method for electrochemical treatment based on the use of two-layer capillary-porous systems (polyurethane foam and cotton fabrics) is proposed. The optimal parameters of such systems are determined and the appropriate devices are manufactured.

В Институте прикладной физики НАН Беларуси развивается направление по применению электрохимической обработки (ЭХО) сварных швов перед капиллярным контролем [1]. В процессе исследований нами установлено, что такая обработка обеспечивает полное удаление слоев металла толщиной до 100-200 мкм в устьях дефектов, которые образуются при предварительной зачистке сварных швов абразивными инструментами, и повышение чистоты контролируемых поверхностей до Ra 5-2,5. Это дает возможность выполнять качественный люминесцентный капиллярный контроль сварных швов.

Практическое применение ЭХО при капиллярном контроле требует разработки специального высокопроизводительного оборудования, поскольку известные устройства для ЭХО сварных швов имеют невысокую производительность и предназначены в основном для

обезжиривания и полирования швов с удалением тонких поверхностных слоев металла с толщинами порядка нескольких микрометров. В процессе разработки такого оборудования, которое должно обеспечивать эффективную реализацию ЭХО сварных швов и во внецеховых условиях, необходимо решить основную проблему, связанную с подачей и удержанием в межэлектродном рабочем зазоре необходимого количества электролита. Как показали проведенные нами предварительные исследования, такая проблема успешно решается при размещении в межэлектродном зазоре при ЭХО капиллярно-пористых систем (КПС), использование которых позволяет проводить данный процесс без подачи электролита в рабочую зону. Настоящая работа связана с дальнейшими исследованиями такого процесса и разработкой эффективного оборудования для его реализации.

Для исследований использовались образцы из сталей Ст.3 и 15Х5М с искусственными дефектами, имеющими ширину раскрытия 1-20 мкм, глубину 450-650 мкм и длину 15-16 мм. Искусственные дефекты наносились по новой технологии, разработанной в ИПФ НАН Беларуси, при которой не требуется нанесение покрытий или дополнительной химико-термической обработки образцов, например, азотирования. Такая технология обеспечивает получение дефектов, не выходящих на края образца, прямолинейность их устьев и необходимую глубину. Качество капиллярного контроля определялось с использованием компьютеризированной системы обработки и анализа видеоизображений [2], позволяющей обнаруживать и регистрировать индикаторные рисунки дефектов, проводить их количественную оценку на основе оптических и геометрических характеристик. При микроскопических исследованиях телекамера данной системы, встраивалась в металлографический микроскоп "Метам-Р1". ЭХО образцов осуществлялась в водных растворах NaCl. Использовались люминесцентный пенетрант FBP-914 (Helling) и цветной VP-600 (Sonapen). Перед ЭХО и капиллярным контролем осуществлялась абразивная обработка образцов с использованием стандартных зачистных кругов и кругов лепестковых торцовых (КЛТ) с индексами зерни-

стости $P = 40-150$. Капиллярный контроль выполнялся в соответствии с СТБ 1172-99 [3].

Исследование процесса ЭХО с использованием однослойных КПС

Высокая эффективность процесса ЭХО сталей без подачи электролита с использованием однослойных КПС может быть достигнута при выполнении ряда условий, к которым можно отнести следующие:

- 1) высокое смачивание электролитом для ЭХО (обычно водный раствор NaCl) используемой пористой системы;
- 2) способность удержания достаточного для реализации требуемого энергетического режима количества электролита;
- 3) чистота поверхности изделия после ЭХО;
- 4) технологические и экономические характеристики – стоимость, доступность, удобство в работе и др.

Анализ большого количества существующих КПС показал, что вышеуказанным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют натуральные тканевые материалы на основе хлопка, бумаги, а также поролон. Для исследований нами были приняты следующие материалы: хлопчатобумажные ткани (мадаполам, двунитка, бязь отбеленная), бинт медицинский, ватин, бумага (фильтровальная и писчая), пенополиуретан (поролон).

Толщина КПС и время ЭХО определялись, исходя из требуемого энергетического режима. Ранее нами было установлено, что для полного удаления поверхностного деформированного слоя металла в зонах дефектов на сталях 15Х5М и Ст.3 после обработки зачистными кругами, обеспечивающими шероховатость обработки $Rz \approx 40$, необходима ЭХО в водном растворе NaCl при удельной энергетической нагрузке $Q = 120-150 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$ [1]. После чистовой абразивной обработки таких сталей полировальными кругами на вулканичной основе до $Ra \approx 1-1,4$ достаточна ЭХО с $Q = 60-90 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$. Учитывая использование в данных исследованиях абразивных кругов КЛТ, обеспечивающих шероховатость обработанных поверхностей $Ra \approx 1,25-5$, пред-

ставлялось обоснованным принять среднюю удельную энергетическую нагрузку $Q = 80-100 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$. Исследовалась работоспособность предложенных КПС при ЭХО без подачи электролита.

В результате исследований установлено, что при использовании однослойных КПС, изготовленных из поролон и ватина, поверхность образцов после ЭХО неоднородна, имеет локальные необработанные зоны (рис. 1, б, в). Уменьшение силы тока в процессе ЭХО относительно незначительно, что позволяет за время обработки 300 с обеспечивать расчетную удельную энергетическую нагрузку до $Q = 90 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$. При ЭХО с использованием КПС из медицинского бинта на поверхности образца остаются темные пятна, а также рельеф в виде сетки (рис. 1, г). Наиболее однородную поверхность образца обеспечивает ЭХО с применением КПС из хлопчатобумажных тканей (рис. 1, д). Однако в этом случае сила тока, а, следовательно, и заряд, прошедший через электролит, значительно уменьшаются, что снижает производительность обработки. Данный факт имеет место также при ЭХО с использованием КПС из фильтровальной бумаги.

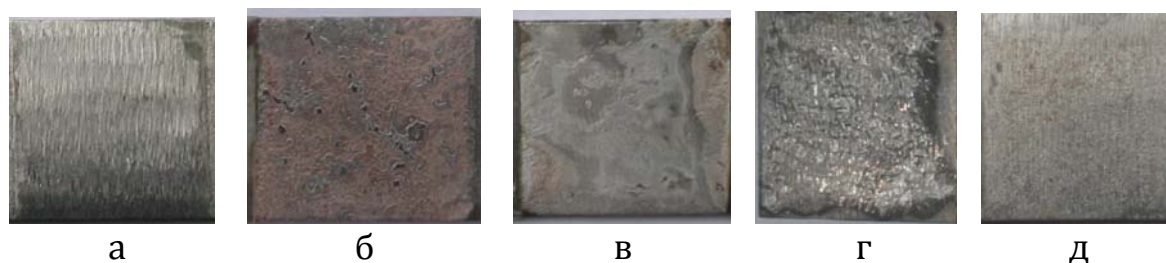


Рис. 1. Качество поверхности образцов из стали Ст.3, подвергнутых ЭХО с КПС из различных материалов (М 1:1):
а – без ЭХО (начальное состояние, Ra 5), б – поролон, в – ватин, г – бинт медицинский, д – бязь отбеленная

Как следует из вышесказанного, все предложенные для ЭХО материалы имеют недостатки, выражающиеся или в значительном уменьшении в процессе обработки силы тока и производительности процесса, или в ухудшении качества обработанной поверхности. Таким образом, использование в качестве КПС однослойной структуры (материала) не приводит к удовлетворительным результатам. С точки

зрения постоянства силы тока в процессе ЭХО без подачи электролита и обеспечения необходимой для снятия определенного количества металла плотности тока ($I = 0,3 \text{ А/см}^2$) наиболее эффективным является применение КПС, изготовленных из поролона. Проблема неоднородности обработанных с использованием ЭХО поверхностей может быть решена путем использования двухслойной структуры КПС – поролона с мадаполомом.

Исследование процесса ЭХО с использованием двухслойных КПС

В данных исследованиях определялось качество поверхности образцов из стали Ст.3 после их абразивной обработки кругом ЗК10ХВ (КЛТ40) и последующей ЭХО без подачи электролита при использовании 2-х-слойной КПС из поролона толщиной 8 мм и одного слоя хлопчатобумажной ткани (мадаполама). Вначале исследовалось горизонтальное расположение образцов под катодом, которое является наилучшим для стабильности процесса ЭХО, поскольку электролит в несущем слое из поролона под действием силы тяжести стекает непосредственно в зону обработки, где расположен основной формообразующий слой КПС. Как видно из микрофотографий, приведенных на рисунке 2, уже после реализации энергетического режима с $Q = 90 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$ исходный микрорельеф образца после обработки кругом КЛТ40 почти полностью сглаживается. На отдельных участках остаются частично остаточные углубления и полости от начального рельефа (рис. 2, г).

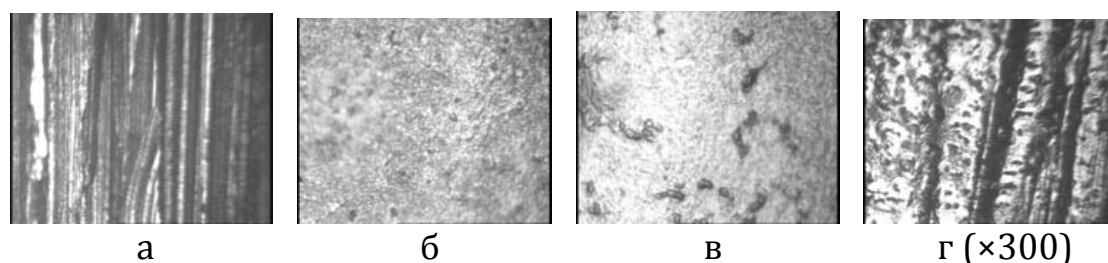


Рис. 2. Микроструктура поверхности образца из стали Ст.3 после ЭХО без подачи электролита и при его горизонтальном положении под катодом (2-х-слойная КПС из поролона толщиной 8 мм и слоя мадаполама, $Q = 90 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$, $\times 150$):
а – до ЭХО после обработки кругом КЛТ40; б-г – после ЭХО.

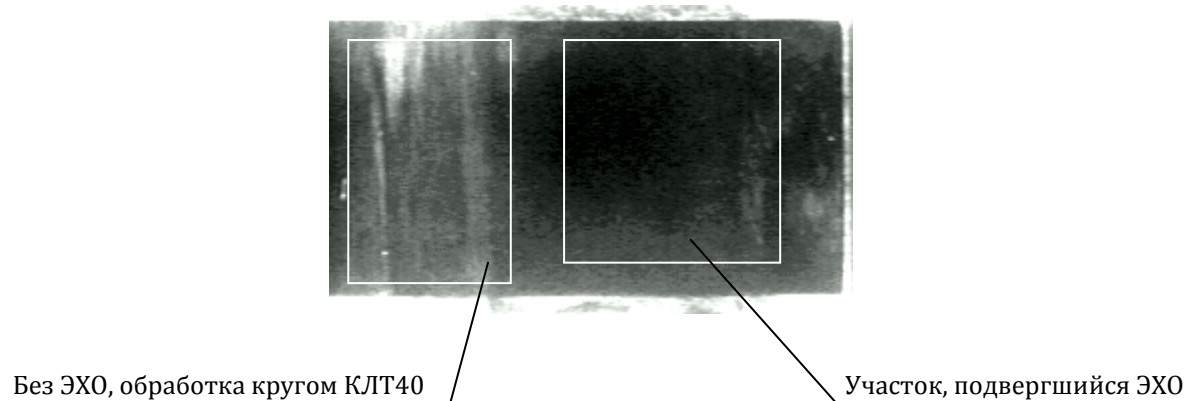


Рис. 3. Люминесцентный капиллярный контроль образца из стали Ст. 3 после ЭХО с использованием КПС из слоя поролон толщиной 8 мм и слоя мадаполам ($Q = 90 \text{ A/cm}^2 \times \text{с}$; М 1:1)

Установлено, что при люминесцентном контроле образца после ЭХО остаточное фоновое свечение проявителя практически полностью устраняется (рис. 3).

Нами определялась предельно возможная работоспособность предлагаемых КПС из поролона и мадаполама. Полученные данные представлены ниже на рисунке 4. Интегрирование полученной кривой показало, что предельная энергетическая нагрузка выбранной КПС составляет $Q \approx 135 \text{ A/cm}^2 \times \text{с}$.

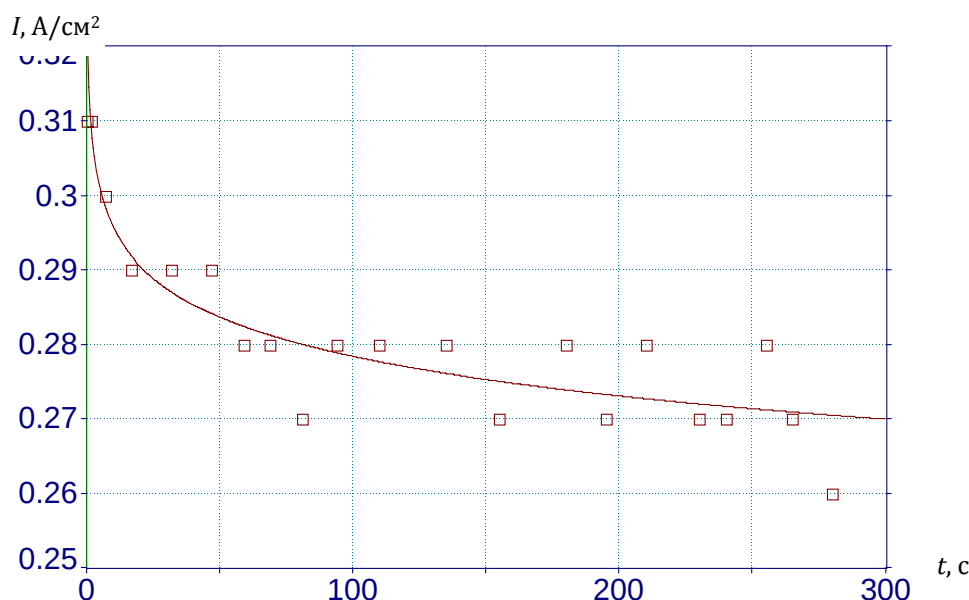


Рис. 4. Изменение плотности тока I от времени t в процессе ЭХО образца из стали Ст.3 с использованием КПС из поролона толщиной 8 мм и слоя мадаполама ($Q \approx 135 \text{ A/cm}^2 \times \text{с}$)

Представлялось важным применительно к практике капиллярного контроля реальных изделий в промышленных условиях исследование процесса ЭХО без подачи электролита с использованием КПС при наиболее неблагоприятных экстремальных условиях расположения образцов по отношению к катоду. К таким условиям можно отнести положение образца над катодом, при котором электролит под действием сил тяжести вытекает из зоны обработки, а также вертикальное положение по отношению к горизонту образца и катода.

Исследования показали, что при таких условиях энергетическая нагрузка выбранной КПС (поролон + мадаполам) существенно снижается и не превышает $Q = 80-85 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$. При таких значениях параметра Q также полностью устраняется фоновое свечение проявителя при люминесцентном капиллярном контроле, что видно из рисунка 6.

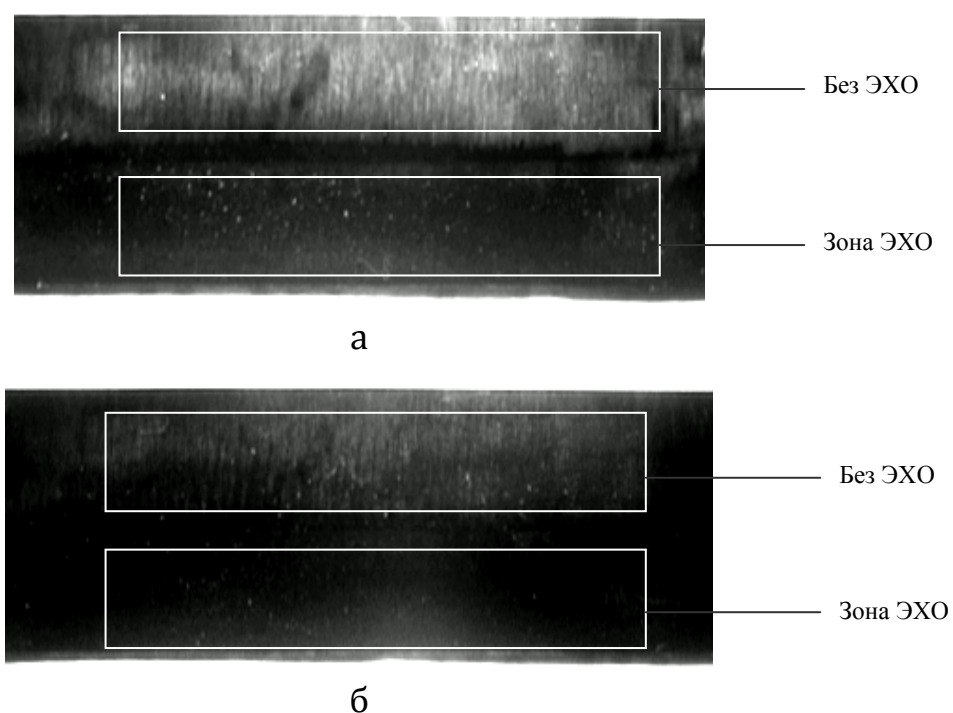


Рис. 6. Остаточный люминесцентный фон образцов из стали Ст.3 после удаления излишков пенетранта при их обработке кругом КЛТ40 и последующей ЭХО ($Q = 80-85 \text{ А/см}^2 \times \text{с}$):
а – вертикальное расположение образца и катода,
б – расположение образца над катодом

Нами исследован также процесс ЭХО без подачи электролита при использовании ступенчатых катодов различных видов с перепадом

ступеней 5 мм. Как показали эксперименты, изменение межэлектродных зазоров в пределах 5-20 мм не оказывает существенного влияния на качество обработанных ЭХО поверхностей после их предварительной абразивной обработки абразивным лепестковым кругом КЛТ40. Наличие данного факта является предпосылкой равномерной качественной ЭХО реальных сварных швов со значительным перепадом макрорельефа в производственных условиях.

На основе проведенных исследований разработаны два устройства для ЭХО сварных швов, с использованием которых возможно проведение качественного люминесцентного контроля сварных швов во внецеховых условиях [4,5].

Заключение

В результате проведенных исследований с целью обеспечения возможности проведения ЭХО во внецеховых условиях без подачи и при ограниченной подаче электролита нами предложен и исследован способ ЭХО, основанный на применении двухслойных капиллярно-пористых систем на основе поролона и хлопчатобумажных тканей.

Установлены оптимальные параметры таких систем: толщина поролона 8-10 мм и один слой ткани типа мадаполама (бязи). Работоспособность таких тампонов и качественная ЭХО образцов обеспечиваются при любых углах их наклона по отношению к горизонту.

Разработаны и изготовлены устройства для проведения ЭХО сварных швов во внецеховых условиях без подачи и при ограниченной подаче электролита с использованием капиллярно-пористых систем [4, 5].

Литература

1. Деленковский Н.В. Электрохимическая обработка сварных швов перед капиллярным контролем // Дефектоскопия. – 2007. – №5. – С. 93-97.
2. Мигун Н.П., Гнусин А.Б., Волович И.В. Компьютеризированная система для количественной оценки качества дефектоскопических материалов // Промышленная безопасность. – 2004. – №1. – С. 34–36.
3. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Основные положения. СТБ 1172-99. – Введ. 30.08.1999. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – С. 12
4. Патент РБ на полезную модель № 6659. Устройство для электрохимической обработки сварных швов, Деленковский Н.В., А.Б №5, 2010 г., опубл. 30.10.10 г.
5. Положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 20100757 от 02.09.10 г. Устройство для электрохимической обработки сварных швов врезок трубопроводов, Деленковский Н.В.