

# Влияние обтекания стальной детали электролитом на характеристики ее электролитно-плазменного полирования

\* П. Н. Белкин, С. А. Силкин, И. Г. Дьяков, С. В. Буров, С. А. Кусманов

*Костромской государственный университет,  
г. Кострома, 156005, Россия, \*e-mail: [belkinp@yandex.ru](mailto:belkinp@yandex.ru)*

Поступила 11.03.2019

После доработки 12.04.2019

Принята к публикации 22.04.2019

Изучается анодное полирование среднеуглеродистой стали 45 и аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т в водных электролитах на основе хлорида аммония или сульфата аммония в условиях естественной конвекции и контролируемой гидродинамики. Измеряются шероховатость поверхности и убыль массы образцов в результате полирования. Показана возможность проведения электролитно-плазменного полирования на установках анодной химико-термической обработки при продольном обтекании деталей электролитом. Определены режимы полирования, обеспечивающие снижение исходной шероховатости сталей по параметру  $R_a$  от 1,0 до  $(0,21 \pm 0,02)$  мкм за 5 мин при скорости убыли массы образцов  $(0,6 \pm 0,1)$  мг/с. Наименьшая шероховатость получена в 3% растворе хлорида аммония при напряжении 300 В и температуре электролита 80°C, подаваемого в электролизер при расходе 0,8 л/мин.

*Ключевые слова:* электролитно-плазменное полирование, сталь, шероховатость поверхности, скорость растворения.

УДК 544.558+66.088

DOI: 10.5281/zenodo.3244425

## ВВЕДЕНИЕ

Среди процессов электролитно-плазменной обработки, применяемых в современной промышленности, одним из ведущих является полирование в водных электролитах. Его достоинствами являются высокая скорость обработки, низкая шероховатость полированного слоя, отсутствие агрессивных и токсичных реагентов, технология реализуется преимущественно в недорогих растворах нейтральных солей [1]. Очевидно, что этот метод не создает остаточных напряжений на поверхности изделия. В настоящее время разработаны режимы обработки и составы электролитов для электролитно-плазменного полирования (ЭПП) различных металлов и сплавов, а также выяснены некоторые физико-химические особенности технологии [2, 3]. Вместе с этим многие базовые вопросы процесса остаются неизученными. К ним относятся роль электрических разрядов и электрохимического растворения в удалении материала с поверхности обрабатываемой детали, связанная с этими процессами природа тока, проходящего через парогазовый слой, свойства и условия образования поверхностной оксидной пленки и другие. Опубликовано много гипотез о характере разряда в парогазовой оболочке (ПГО), которые

называют тлеющим [4], искровым [5], дуговым [6] и даже стримерным [7] без экспериментальных доказательств. Некоторые предположения, например, насчет накопления положительного заряда в ПГО и его взрывного взаимодействия с электронами [8], не вполне увязываются с принятым движением зарядов в электрическом поле. Также вызывает сомнение накопление анионов электролита на поверхности газового пузырька, способного существовать внутри парогазовой оболочки [9].

Многие аспекты ЭПП, включая физико-химические процессы в системе, режимы обработки, составы электролитов и установки для реализации технологии, рассмотрены в монографии [10]. Примеры полирования различных сплавов и рекомендуемые компоненты электролитов приводятся в обзорной статье [11]. Можно считать общепризнанным, что в интервале напряжений, применяемых для ЭПП, существует контакт раствора электролита с поверхностью обрабатываемой детали, без которого невозможно объяснить резкое снижение температуры анода при переходе от режима стационарного нагрева, существующего при более низких напряжениях. Как правило, этот контакт описывается «мостиками» электролита, проникающими через ПГО [12]. Спектральный анализ пульсаций тока при ЭПП

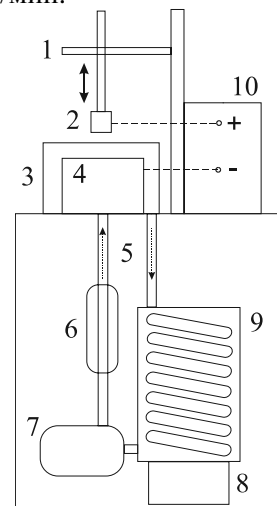
вместе с изучением акустических колебаний позволил выявить взаимосвязь между частотными характеристиками тока и свойствами полируемой поверхности, что может быть использовано для контроля обработки в процессе ее выполнения [13]. Для реализации процесса разработаны опытно-промышленные установки, в которых ЭПП выполняется в условиях естественной конвекции подогреваемого электролита или с его перемешиванием [2]. Большая часть исследований выполнена на плоских образцах или реальных деталях. Для полирования легированных сталей рекомендуются растворы сульфата аммония [14] или хлорида аммония [15].

В данной статье изучается метод ЭПП в электролизере с контролируемой гидродинамикой, который разработан для электролитно-плазменных процессов диффузионного насыщения металлов и сплавов азотом, углеродом или бором [16]. Эти процессы проводятся в режиме стационарного нагрева, где требуется стабилизация температуры охлаждаемого электролита, достигаемая при продольном обтекании цилиндрического образца электролитом, который циркулирует через теплообменник с помощью насоса. Электролитно-плазменные процессы азотирования, цементации, борирования и другие увеличивают износостойкость стальных и титановых сплавов, которая может быть дополнительно повышена операцией ЭПП. Выполнение двух операций на одной и той же установке позволяет существенно сократить продолжительность технологического цикла и снизить его стоимость. Поэтому цель данной работы – оценка роли гидродинамических условий в электролизере на показатели ЭПП среднеуглеродистой стали в водных растворах хлорида и сульфата аммония. Исследование влияния условий продольного обтекания образцов, напряжения, времени обработки, концентрации компонентов электролита и его температуры на шероховатость поверхности, убыль массы образцов и силу тока даст информацию о целесообразности ЭПП на установке для анодной химико-термической обработки.

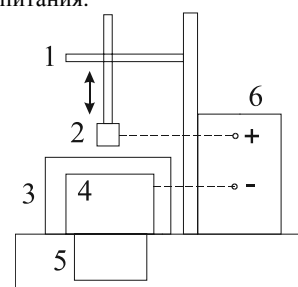
#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы-аноды из сталей 45 и 12Х18Н10Т диаметром 10 мм и длиной 15 мм обрабатывались в цилиндрических электролизерах при различных гидродинамических условиях. На рис. 1 показана схема установки с продольным вертикальным обтеканием боковой поверхности образца электролитом, который переливался через край электролизера в поддон,

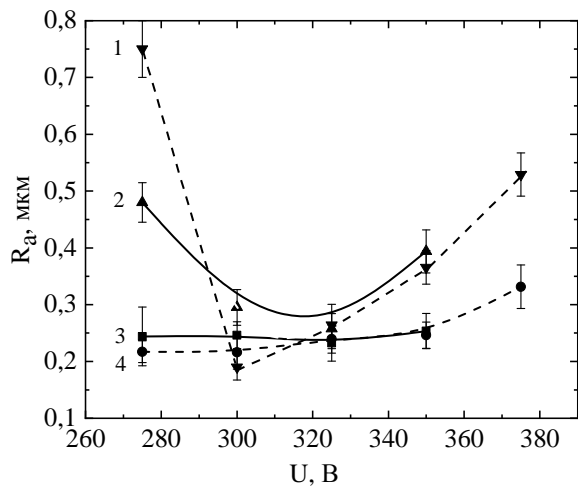
откуда подавался в теплообменник насосом. Более распространенная при ЭПП схема показана на рис. 2, где полирование осуществляется в условиях естественной конвекции. В качестве электролитов использовались водные растворы сульфата и хлорида аммония, температура которых контролировалась термодарой на расстоянии 30 мм от обрабатываемой поверхности с точностью  $\pm 4^\circ\text{C}$ . Объем каждого электролита составлял 2 л, что позволяло считать их выработку незначительной в процессе измерений, не превышающих 30 мин. Перед обработкой образцы зачищались наждачной бумагой до поверхностной шероховатости  $R_a = (1,00 \pm 0,10)$  мкм и очищались ацетоном в ультразвуковой ванне. При достижении заданной температуры электролита нагреватель отключался. Дальнейшая стабилизация температуры достигалась выделением тепла в системе за счет прохождения тока и повторным включением нагревателя при необходимости. Расход электролита в случае его циркуляции контролировался с помощью ротаметра LZT M15 и поддерживался равным 0,8 л/мин.



**Рис. 1.** Схема установки для ЭПП с циркуляцией электролита: 1 – держатель-подъемник образца; 2 – образец-анод; 3 – внешний корпус электролизера; 4 – внутренний контур электролизера-катода; 5 – электролит; 6 – ротаметр; 7 – насос; 8 – нагревательный элемент; 9 – теплообменник; 10 – источник питания.



**Рис. 2.** Схема установки для ЭПП без циркуляции электролита: 1 – держатель-подъемник образца; 2 – образец-анод; 3 – внешний корпус электролизера; 4 – внутренний контур электролизера-катода; 5 – нагревательный элемент; 6 – источник питания.



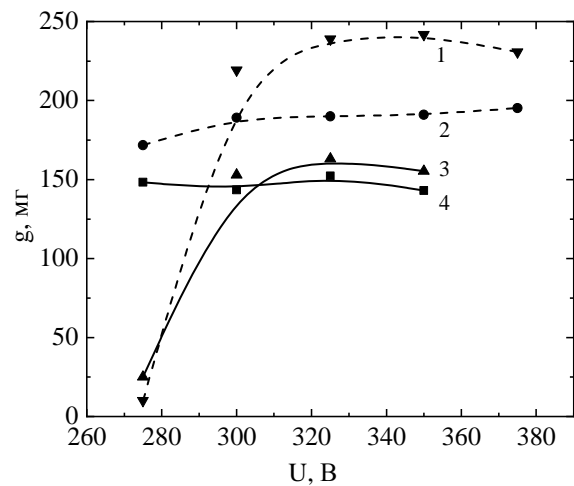
**Рис. 3.** Зависимость шероховатости поверхности стали 45 после ЭПП от напряжения: 1 – в растворе хлорида аммония (3%) с его циркуляцией; 2 – в растворе хлорида аммония (3%) без его циркуляции; 3 – в растворе сульфата аммония (3%) без его циркуляции; 4 – в растворе сульфата аммония (3%) с его циркуляцией. Температура электролитов составляла 80°C, продолжительность полирования – 300 с, расход электролита при циркуляции – 0,8 л/мин.

После подачи напряжения образцы погружались в электролит на глубину верхнего торца, равную 2 мм, если не указано иное. Погруженная в электролит часть токоподвода изолировалась тефлоновой втулкой, чтобы предотвратить характерное для ЭПП разбрызгивание электролита и растворение токоподвода. Показания тока и напряжения регистрировали с помощью двухканального аналогово-цифрового преобразователя с одновременной записью напряжения и тока с частотой 2 Гц. Для преобразования тока в напряжение использовался шунт сопротивлением 1 Ом с точностью 1% и рассеиваемой мощностью 10 Вт.

Шероховатость поверхности измерялась профилометром TR-200. Изменение массы образцов определялось на электронных аналитических весах CitizonCY224C с точностью  $\pm 0,0001$  г после промывания образцов дистиллированной водой для удаления следов солей.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшее уменьшение параметра  $R_a$  достигается полированием при 275–325 В в сульфатном электролите и при 300–325 В в хлоридном электролите независимо от гидродинамических условий (рис. 3). Концентрации растворов указаны в массовых процентах. При уменьшении напряжения от 300 до 275 В в хлоридном электролите появляются признаки перехода в режим стационарного нагрева. Это состояние также характеризуется небольшим снижением шероховатости и минимальным растворением материала образца (рис. 4).

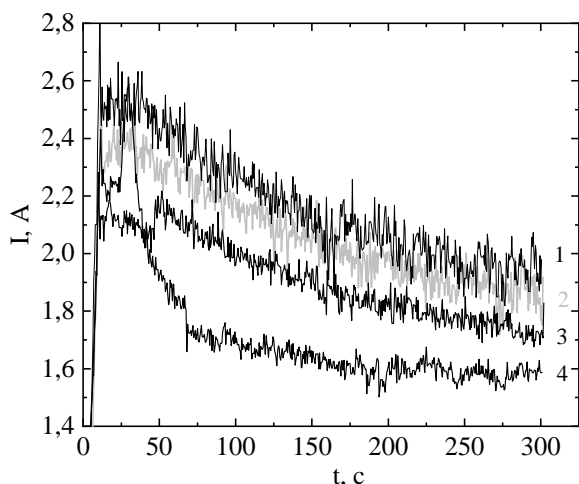


**Рис. 4.** Зависимость убыли массы образцов из стали 45 при ЭПП от напряжения: 1 – в растворе хлорида аммония (3%) с его циркуляцией; 2 – в растворе сульфата аммония (3%) с его циркуляцией; 3 – в растворе хлорида аммония (3%) без его циркуляции; 4 – в растворе сульфата аммония (3%) без его циркуляции. Температура электролитов составляла 80°C, продолжительность полирования – 300 с, расход электролита при циркуляции – 0,8 л/мин.

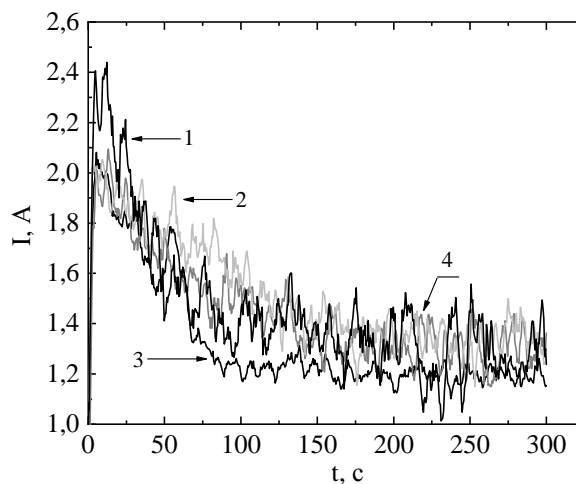
В растворе сульфата аммония такой переход не обнаружен, следовательно, изученный интервал напряжений соответствует режиму полирования.

Продольное обтекание образца электролитом существенно влияет на получаемую шероховатость только при использовании раствора хлорида аммония. В сульфатном электролите полирование происходит достаточно эффективно и примерно одинаково при всех напряжениях, независимо от гидродинамических условий. Принудительное течение раствора хлорида аммония приводит к сжатию интервала напряжений, в котором достигается эффективное полирование. Наилучший результат получен при 300 В, где исходная шероховатость уменьшается более чем в 5 раз.

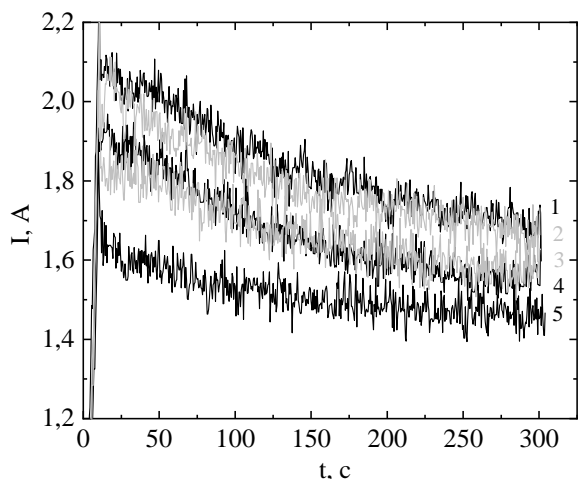
Ожидаемым следствием продольного обтекания является утонение ПГО, что обычно приводит к росту плотности тока и вероятной интенсификации анодного растворения. Действительно, принудительная циркуляция электролита заметно увеличивает убыль массы образцов после полирования стали в растворе сульфата аммония (кривые 1 и 2 на рис. 4). Еще более выражена эта закономерность при использовании хлорида аммония, который характеризуется более высоким выходом по току, чем сульфат аммония, при растворении стали в режиме стационарного нагрева [17]. Напряжение во всех случаях слабо влияет на убыль массы при полировании, что является косвенным аргументом в пользу электрохимического механизма удаления материала образца, для которого определяющим параметром является плотность тока.



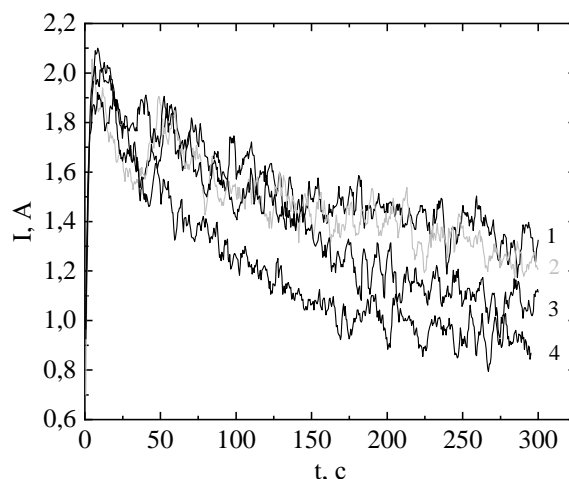
**Рис. 5.** Зависимость значения тока от времени ЭПШ в растворе хлорида аммония (3%) с его циркуляцией при различных напряжениях, В: 1 – 350; 2 – 325; 3 – 300; 4 – 275. Температура электролита составляла 80°C, расход электролита – 0,8 л/мин.



**Рис. 6.** Зависимость значения тока от времени ЭПШ в растворе хлорида аммония (3%) без его циркуляции при различных напряжениях, В: 1 – 350; 2 – 325; 3 – 275; 4 – 300. Температура электролита составляла 80°C.



**Рис. 7.** Зависимость значения тока от времени ЭПШ в растворе сульфата аммония (3%) с его циркуляцией при различных напряжениях, В: 1 – 300; 2 – 375; 3 – 350; 4 – 275; 5 – 325. Температура электролита составляла 80°C, расход электролита – 0,8 л/мин.

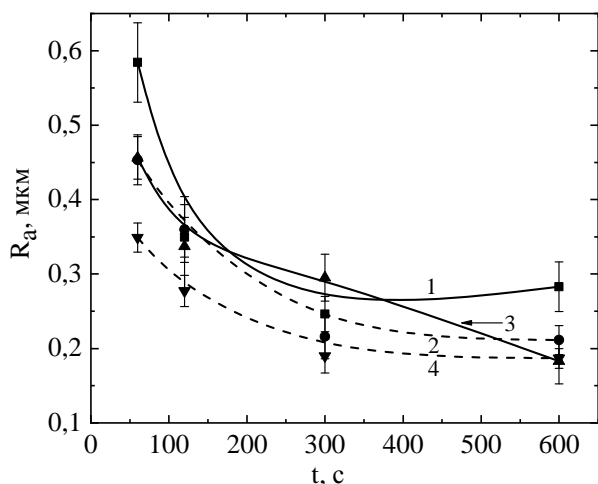


**Рис. 8.** Зависимость значения тока от времени ЭПШ в растворе сульфата аммония (3%) без его циркуляции при различных напряжениях, В: 1 – 275; 2 – 300; 3 – 325; 4 – 350. Температура электролита составляла 80°C.

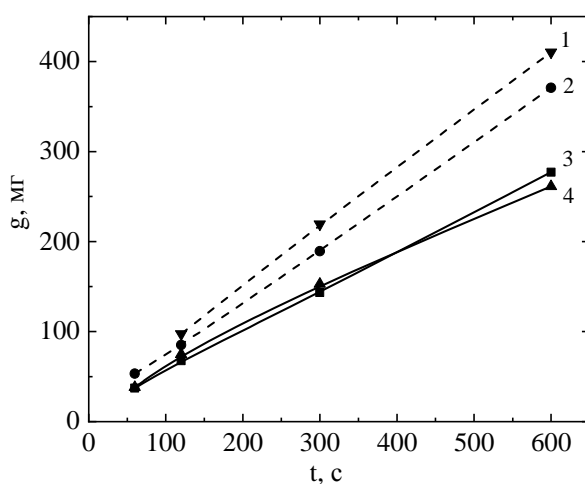
Измеренные хроноамперограммы представляют собой убывающие зависимости (рис. 5–8), что указывает на увеличение электрического сопротивления многофазной системы, которая содержит последовательно включенные электролит, ПГО и металлический образец. Электропроводность электролита, тем более стального образца, на порядок выше, чем проводимость ПГО. Поверхность образцов остается светлой без визуально выявляемых оксидов железа. Поэтому наиболее вероятно изменение толщины ПГО из-за недостаточной стабилизации температуры в прианодной зоне электролита. Такое предположение подтверждается тем, что циркуляция раствора хлорида аммония увеличивает средние значения тока на 25–30% после 5 мин полирования. В меньшей степени эта закономерность наблюдается в растворе сульфата аммония, где средние значения тока

всегда ниже, чем в растворе хлорида аммония, при прочих равных условиях. В целом изменения плотности тока коррелируют с убылью массы образца при полировании, что не противоречит электрохимическому механизму удаления материала. Полирование стали 45 в сульфатном электролите с циркуляцией раствора идет при меньших значениях тока при снижении убыли массы образцов. Характер влияния напряжения на силу тока в изученных электролитах и отличающихся гидродинамических условиях неодинаков по невыясненным в настоящее время причинам. Не исключена роль неконтролируемых пульсаций ПГО под действием самоорганизованных потоков электролита с турбулентным выходом пара в атмосферу [18].

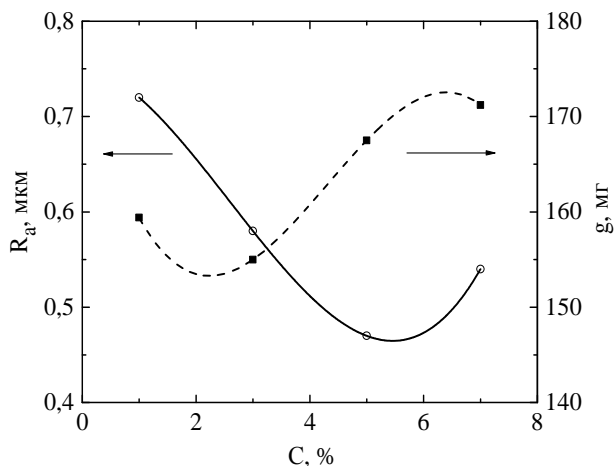
Шероховатость поверхности после ЭПШ быстро убывает при увеличении продолжительности процесса (рис. 9), что соответствует



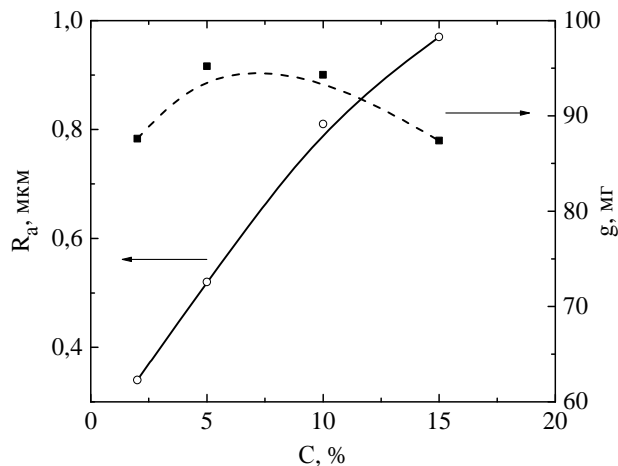
**Рис. 9.** Зависимость шероховатости поверхности стали 45 после ЭПП от продолжительности обработки: 1 – в растворе сульфата аммония (3%) без его циркуляции; 2 – в растворе сульфата аммония (3%) с его циркуляцией; 3 – в растворе хлорида аммония (3%) без его циркуляции; 4 – в растворе хлорида аммония (3%) с его циркуляцией. Температура электролитов составляла 80°C, напряжение – 300 В, расход электролита при циркуляции – 0,8 л/мин.



**Рис. 10.** Зависимость убыли массы образцов из стали 45 при ЭПП от продолжительности обработки: 1 – в растворе хлорида аммония (3%) с его циркуляцией; 2 – в растворе сульфата аммония (3%) с его циркуляцией; 3 – в растворе сульфата аммония (3%) без его циркуляции; 4 – в растворе хлорида аммония (3%) без его циркуляции. Температура электролитов составляла 80°C, напряжение – 300 В, расход электролита при циркуляции – 0,8 л/мин.



**Рис. 11.** Зависимость шероховатости поверхности и убыли массы образцов из стали 45 от концентрации сульфата аммония. Температура электролита – 80°C, напряжение – 300 В, продолжительность полирования – 180 с, циркуляция электролита отсутствует.

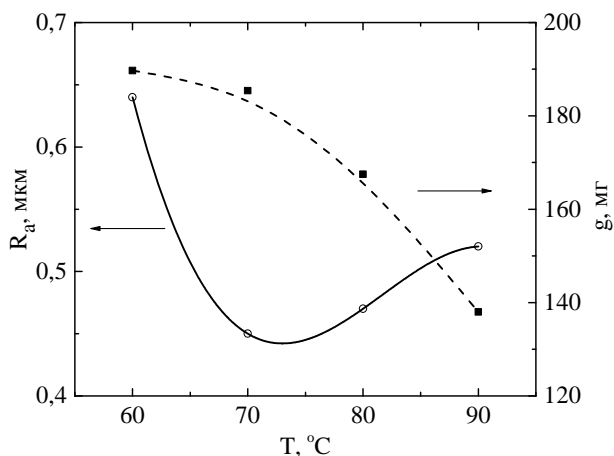


**Рис. 12.** Зависимость шероховатости поверхности и убыли массы образцов из стали 45 от концентрации хлорида аммония. Температура электролита – 90°C, напряжение – 300 В, продолжительность полирования – 180 с, циркуляция электролита отсутствует.

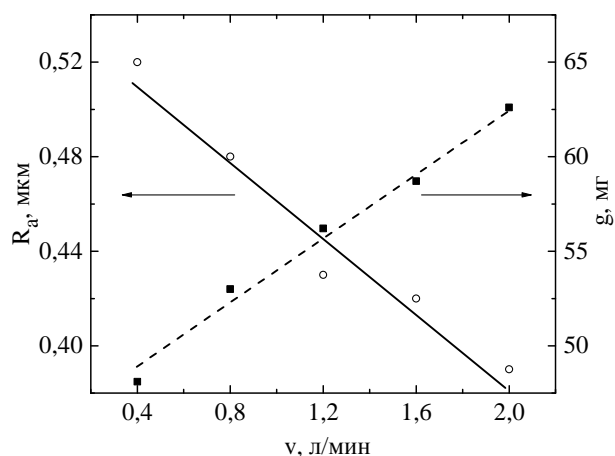
опубликованным данным [4, 19], и моделируется экспоненциальной функцией [20]. Минимальное значение параметра  $R_a$  достигается за 5 мин полирования в хлоридном электролите с его принудительной циркуляцией. Близкие результаты получены в растворе сульфата аммония. Положительное влияние контролируемой гидродинамики дает основание считать, что применяемая скорость обтекания детали не уменьшает толщину диффузионного слоя электролита как аналога противоиэлектрода до величин микровыступов на поверхности образца. В противном случае различие в растворимости выступов и впадин может привести к переходу от режима полирования к травлению с целью развития обрабатываемой поверхности [21]. Линейная зависимость убыли массы образцов от продол-

жительности ЭПП также не противоречит электрохимической природе процесса полирования (рис. 10).

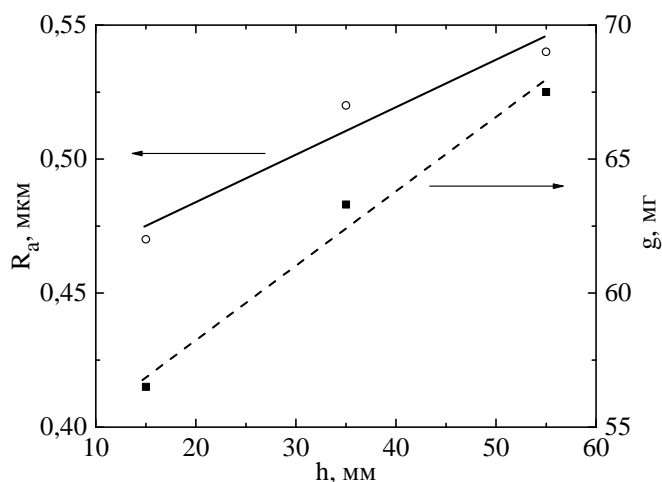
Вариация концентрации солей аммония позволила определить составы, обеспечивающие наибольшее снижение шероховатости. Для сульфатного электролита наилучшей в плане уменьшения  $R_a$  является 5% концентрация раствора, позволяющая снизить шероховатость полирования более чем в 2 раза за 180 с (рис. 11). В то же время для минимизации съема материала предпочтительна концентрация 3%. Уменьшение концентрации хлорида аммония до минимального значения 2%, обеспечивающего режим полирования, способствует снижению шероховатости до минимума (рис. 12). Вместе с этим убыль массы образцов не слишком сильно зависит от концентрации электролита.



**Рис. 13.** Зависимость шероховатости поверхности и убыли массы образцов из стали 45 от температуры электролита. Электролит – 5% раствор сульфата аммония, напряжение – 300 В, продолжительность полирования – 180 с, циркуляция электролита отсутствует.



**Рис. 14.** Зависимость шероховатости поверхности и убыли массы образцов из стали 12X18H10T от величины расхода электролита. Электролит – 2% раствор сульфата аммония, температура электролита – 80 °C, напряжение – 300 В, продолжительность полирования – 300 с.



**Рис. 15.** Зависимость шероховатости поверхности и убыли массы образцов из стали 12X18H10T от глубины погружения образца. Электролит – 2% раствор сульфата аммония, температура электролита – 80 °C, напряжение – 300 В, продолжительность полирования – 300 с, расход электролита – 1,2 л/мин.

Изучение влияния температуры электролита на шероховатость поверхности и убыль массы образцов показало, что наибольшее снижение параметра  $R_a$  достигается при температурах 70–80 °C, а наименьший съём материала линейно зависит от температуры: чем выше температура раствора, тем меньше скорость анодного растворения (рис. 13). Повышение шероховатости с увеличением температуры электролита от 70 до 90 °C на фоне монотонного убывания скорости растворения может быть связано с дополнительными процессами на поверхности образца, исследование которых выходит за рамки данной работы.

В таблице представлены результаты, полученные в растворе хлорида аммония с добавлением веществ, применяемых при полировании, либо компонентов, являющихся источниками азота, углерода или бора. Оказалось, что при добавлении щавелевой кислоты и глицерина шероховатость поверхности не изменялась по сравнению с полированием в хлоридном

электролите без добавок, но снизилось значение убыли массы образцов. В остальных случаях наблюдается ухудшение обоих параметров либо интенсифицируется процесс анодного растворения.

В заключение приведем результаты ЭПП аустенитной нержавеющей стали 12X18H10T в растворе сульфата аммония для условий продольного обтекания образца электролитом (рис. 14). Данный состав рекомендуется многими авторами для ЭПП нержавеющей сталей [1–3, 5], в отличие от растворов хлорида аммония с меньшей пассивацией обрабатываемой поверхности [22]. Установлено, что повышение скорости подачи раствора в электролизер и соответственно скорости течения электролита способствует снижению шероховатости более чем в 2 раза. Движение электролита приводит к сжатию ПГО и росту плотности тока, что отражается в увеличении скорости растворения и убыли массы образца. Увеличение глубины погружения образца в электролит не оправдано,

Значения убыли массы образцов  $g$  и шероховатости поверхности  $R_a$  после ЭПП стали 45 в 2% растворе хлорида аммония с различными добавками (3%) в течение 180 с при напряжении 300 В и температуре электролита 90°C

Добавка	$g$ , мг	$R_a$ , мкм
Без добавки	87,6±0,5	0,34±0,03
Щавелевая кислота	62,8±0,5	0,33±0,04
Сахароза	68,8±0,5	0,50±0,04
Этиленгликоль	70,9±0,5	0,48±0,04
Глицерин	73,0±0,5	0,36±0,04
Изоамиловый спирт	73,4±0,5	0,43±0,02
Борная кислота	91,5±0,5	0,34±0,04
Карбамид	91,9±0,5	0,37±0,03
Нитрат аммония	119,3±0,5	0,95±0,06

ибо оно приводит к повышению шероховатости и интенсивности растворения стали (рис. 15).

## ВЫВОДЫ

1. Электролитно-плазменное полирование среднеуглеродистой стали можно проводить на установках анодного диффузионного насыщения металлов и сплавов азотом, углеродом или бором в условиях контролируемой гидродинамики с продольным обтеканием деталей электролитом. Установлено, что циркуляция раствора хлорида аммония сужает интервал рабочих напряжений для полирования до 300–325 В, но дает лучшую шероховатость. При полировании в растворе сульфата аммония гидродинамические условия на достигаемую шероховатость не влияют.

2. Наибольшее снижение шероховатости стали 45 от исходного  $R_a$  1,0 до 0,19 мкм достигается за 5 мин в условиях продольного обтекания образца 3% раствором хлорида аммония при величине расхода 0,8 л/мин, напряжении 300 В и температуре электролита 80°C. Скорость убыли массы при указанных условиях составляет 0,73 мг/с. Полирование стали в том же электролите, но в случае естественной конвекции обеспечивает шероховатость 0,26 мкм (325 В) и более низкую скорость убыли массы 0,54 мг/с.

3. Близкие значения шероховатости стали 45 (0,24±0,02) мкм) получены после полирования в 3% растворе сульфата аммония при 275–350 В и тех же значениях температуры электролита и скорости его течения. Удаление материала при полировании в сульфатном электролите несколько ниже, чем в хлоридном, и составляет (0,6±0,03) мг/с при обтекании образца электролитом и (0,5±0,02) мг/с без него. Наименьшая шероховатость достигается при концентрации сульфата аммония 5%, а минимальная убыль массы стали при 3%. Рекомендуемая температура раствора сульфата составляет 70°C, ее повышение ведет к росту шероховатости.

4. Во всех изученных режимах скорость уменьшения шероховатости быстро убывает.

Продолжительность полирования может быть ограничена 5 мин. Добавка 3% глицерина или щавелевой кислоты способствует уменьшению убыли массы стали 45 при полировании без ухудшения шероховатости поверхности.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10094) Костромскому государственному университету.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзоев Р.А., Давыдов А.Д. *Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов*. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 382 с.
2. Синькевич Ю.В., Шелег В.К., Янковский И.Н., Беляев Г.Я. *Электроимпульсное полирование сплавов на основе железа, хрома и никеля*. Минск: БНТУ, 2014, 325 с.
3. Парфенов Е.В., Невьянцева Р.Р., Горбатков С.А., Ерохин А.Л. *Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление: монография*. М.: Машиностроение, 2014. 380 с.
4. Vana D., Podhorský Š., Hurajt M., Hanzen V. *IJMER*. 2013, (2), 788–792.
5. Новоселов М.В., Шиллинг Н.Ш., Рудахин А.А., Радкевич М.М. и др. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. 2018, **20**(1), 94–102.
6. Beck U., Lange R., Neumann H-G. *Adv Mater Res*. 2007, **15–17**, 141–146.
7. Cornelsen M., Seitz H., Deitsch C. *Metals*. 2018, **8**(1), 12.
8. Wang J., Suo L., Guan L., Fu Y. *Adv Mater Res*. 2012, **472–475**, 350–353.
9. Плотников Н.В., Смыслов А.М., Таминдаров Д.Р. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2013, **17**(4), 90–95.
10. Куликов И.С., Ващенко С.В., Каменев А.Я. *Электролитно-плазменная обработка материалов*. Минск: Белорусская наука, 2010. 231 с.

11. Nestler K., Böttger-Hiller F., Adamitzki W., Glowa G. et al. *Procedia CIRP*. 2016, **42**, 503–507.
12. Синькевич Ю.В. *Наука и техника*. 2016, **15**(5), 404–414.
13. Мукаева В.Р., Горбатков М.В., Фаррахов Р.Г., Парфенов Е.В. и др. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2017, **21**(3), 32–39.
14. Parfenov E.V., Farrakhov R.G., Mukaeva V.R., Gusarov A.V. et al. *Surf Coat Technol.* 2016, **307**, 1329–1340.
15. Ушомирская Л.А., Новиков В.И. *Металлообработка*. 2008, (1), 22–24.
16. Кусманов С.А., Дьяков И.Г., Белкин П.Н., Грачева Л.А. и др. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2015, (1), 106–112.
17. Ганчар В.И., Згардан И.М., Дикусар А.И. *ЭОМ*. 1994, (4), 69–77.
18. Синькевич Ю.В., Шелег В.К., Янковский И.Н. *Вестник Полоцкого государственного университета, серия В, Промышленность. Прикладные науки*. 2008, (8), 66–72.
19. Cornelsen M., Deutsch C., Seitz H. *Metals*. 2018, **8**(5), 330–339.
20. Мукаева В.Р., Парфенов Е.В. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2012, **16**(6), 67–73.
21. Gamburg Yu.D., Davydov A.D., Kharkats Yu.I. *Russ J Electrochem.* 1994, **30**(4), 422–443.
22. Иванова Н.П., Синькевич Ю.В., Шелег В.К., Янковский И.Н. *Наука и техника*. 2013, (1), 24–30.

### Summary

Anodic polishing of medium carbon steel (0.45 wt.% C) and austenitic stainless steel 12X18H10T in aqueous electrolytes based on ammonium chloride or ammonium sulfate is studied under conditions of natural or force convection. Surface roughness, weight loss of the samples, and the current as a result of polishing are measured. A possibility of the plasma electrolytic polishing using a setup for anodic thermal chemical treatment of compounds with their longitudinal flowing by electrolyte is shown. Polishing regimes are determined to decrease the initial surface roughness of the steels from  $R_a = 1.0 \mu\text{m}$  to  $0.19\text{--}0.22 \mu\text{m}$  for 5 minutes at a rate of the sample weight loss being  $0.5\text{--}0.7 \text{ mg/s}$ . The minimal surface roughness is obtained using a 3% solution of ammonium chloride at a flow rate of  $0.8 \text{ l/min}$ , a voltage of  $300 \text{ V}$ , and an electrolyte temperature of  $80^\circ\text{C}$ .

*Keywords:* plasma electrolytic polishing, steel, surface roughness, dissolution rate.