

нейшем дважды модифицируется, при этом меняются ее свойства и состав.

4. Реализация адсорбционной стадии формирования пленки вероятнее всего зависит от активности поверхности металла. Чем активнее поверхность, тем быстрее протекает адсорбционная стадия.

5. Повышение температуры увеличивает скорости растворения железа и пассивационной пленки, что приводит при 90 °С к неполной пассивации, а также к смене механизма формирования покрытия.

### Библиографический список

1. Ингибиторы коррозии в конверсионных покрытиях / Ю. И. Кузнецов // Защита металлов от коррозии. – 2001. – Т. 37. – № 2. – С. 119-125.

2. Улиг Г. Г., Ревы Р. У. Коррозия и борьба с ней. Вве-

дение в коррозионную науку и технику – Л.: Химия, 1985. – 456 с.

3. Акользин А. П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями – М.: Metallurgia, 1989. – 192 с.

4. Исследование процессов коррозии стали в воде / Н. Д. Гомеля, В. М. Радовенчик, Г. Л. Шутько // Экологии и ресурсосбережение. – 1996. – № 1. – С. 36-40.

5. Merker A. D. Some views on the mechanism of action of corrosion inhibitors in neutral solution: Corrosion' 89, New Orleans, La, Apr. 17-21, 1989 – NACE, 1989. – P. 446.

6. Адсорбция 1, 2, 3 – бензотриазола на поверхности цинка в фосфатном растворе / Л. П. Казанский, Е. М. Соколова, Ю. Е. Пронин // Защита металлов от коррозии. – 2013. – № 2. – С. 36-40.

Поступила 08.04.2014



УДК 621.762

Пинчук С. И. /д. т. н./,  
Грещик А. М. /к. х. н./,

Национальная металлургическая академия Украины

Производство

Ковзик А. Н. /к. т. н./,  
Белая А. В.

## Электрохимическая обработка высокохромистого сплава

*Исследовано влияние состава электролита и плотности тока на эффективность анодной обработки высокохромистого сплава. Установлен оптимальный состав электролита и условия электролиза, обеспечивающие высокопроизводительную и качественную очистку проволоки высокохромистого сплава. Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** высокохромистый сплав, электрохимическая обработка, анодная очистка, поляризационные измерения, плотность тока

*Influence of electrolyte composition and current density on the effectiveness of anode treatment of high-chrome alloy is analyzed. Tailored composition of electrolyte and electrolysis conditions, providing effective and qualitative cleaning of the wire from high-chrome alloy, is determined.*

**Keywords:** high-chrome alloy, electrochemical working, anodic cleaning, polarization measurements, current density

Высокохромистый сплав, содержащий до 98 % хрома, обладает удовлетворительной пластичностью при холодной деформации, что позволяет его использовать для изготовления проволочных материалов сплошного сечения, применяемых при газотермическом напылении покрытий [1]. Получают такие проволоки горячим волочением. Поэтому для придания проволокам товарного вида и необходимых поверхностных свойств требуется их предварительная подготовка. Чаще всего такая подготовка заключается в обезжиривании для удаления органических загрязнений и химическом травлении для очистки поверхности от оксидных пленок. Химическое травление, предусматривающее использование высококонцентрированных щелочных или кислых растворов и повышенные температуры, требует значительных экономических и экологических затрат. Поэтому разработка и использование более эффективной, менее затратной и экологически щадящей технологии обработ-

ки поверхности высокохромистой проволоки представляет значительный интерес.

Анализ литературных сведений [2, 3] показал, что для электрохимической обработки и полирования хрома и хромосодержащих сталей при содержании в них хрома до 35 % предлагаются электролиты, содержащие в качестве основы фосфорную и серную кислоты в различных массовых соотношениях. В то же время сведения об электрохимической обработке высокохромистых сплавов с содержанием до 98 % отсутствуют. Логично было ожидать, что электролит для электрохимической обработки таких высокохромистых сплавов должен содержать фосфорную и серную кислоты, что и определило содержание исследований данной работы.

Выполненные поляризационные измерения электрохимических характеристик высокохромистого сплава в растворах серной, фосфорной кислот и их смеси показали наличие на анодных поляризационных кривых участков предельного тока. Такая

форма кривой, при которой плотность тока практически не изменяется с повышением анодного потенциала, является результатом диффузионных ограничений процесса при образовании у поверхности металла толстого вязкого слоя из продуктов реакции. Такие явления становятся особенно заметными для концентрированных вязких растворов, а наличие слоя продуктов реакции с низкой электропроводностью является необходимым условием избирательного растворения поверхности металла, что сопровождается ее сглаживанием [3, 4].

Для определения оптимального состава раствора было определено состояние поверхности образцов высокохромистого сплава после их анодной обработки в растворах чистых кислот и их смесей при плотности тока 50 А/дм<sup>2</sup> и длительности обработки 10 минут. Состояние поверхности после обработки оценивалось визуально методом сравнения с эталоном [5]. Состав трехкомпонентной системы оптимизирован методом симплекс-планирования [6]. Получен оптимальный состав электролита для электрохимической обработки проволоки из высокохромистого сплава: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 60-80 %; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20-40 %; H<sub>2</sub>O 10-20 %.

Анодная поляризационная кривая, полученная в потенциодинамическом режиме со скоростью изменения потенциала 2 мВ/с, для высокохромистого сплава в растворе состава 60 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 20 % H<sub>2</sub>O представлена на рис. 1.

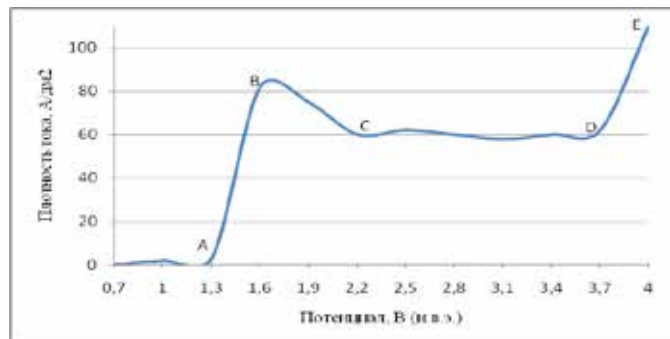


Рис. 1. Анодная поляризационная кривая для высокохромистого сплава в электролите состава 60 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 20 % H<sub>2</sub>O

На кривой можно выделить четыре участка, отражающие особенности анодного процесса: АВ – активное травление металла; ВС – падения тока связано с возникновением явления пассивности, периодические колебания тока в данной области обусловлены периодическим ростом и разрушением тонкой оксидной пленки на поверхности анода [3]; CD – независимость тока от потенциала является следствием диффузионных ограничений процесса при образовании на поверхности вязкого слоя продуктов растворения металла, что обеспечивает избирательное растворение выступов поверхности, т. е. ее сглаживание; DE – активное

выделение газа и локальное растворение металла с образованием питтингов. Анализ полученной зависимости анодного тока от потенциала подтверждает возможность использования электролита данного состава для высокопроизводительной и качественной обработки высокохромистого сплава.

Для выявления оптимальной плотности тока было оценено качество обработанной поверхности металла в предлагаемом электролите при плотностях тока в пределах 20-100 А/дм<sup>2</sup> и при различных длительностях обработки. Установлено, что удовлетворительное сглаживание поверхности при полном удалении оксидного слоя наблюдается при плотностях тока 40-80 А/дм<sup>2</sup>, при этом длительность обработки составляет 4-8 минут и уменьшается с увеличением плотности тока. Результаты влияния плотности анодного тока на основные параметры электрохимической обработки поверхности высокохромистого сплава в фосфорносерно-кислом электролите представлены на рис. 2, 3.

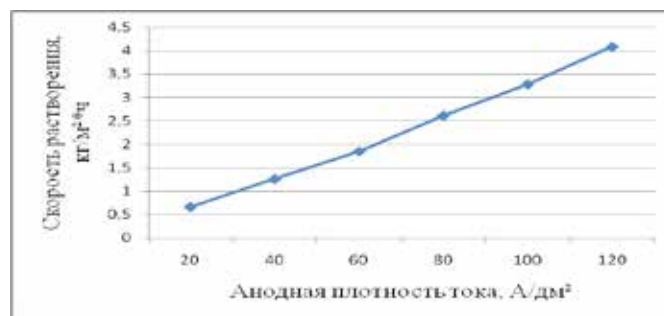


Рис. 2. Влияние плотности тока на скорость растворения

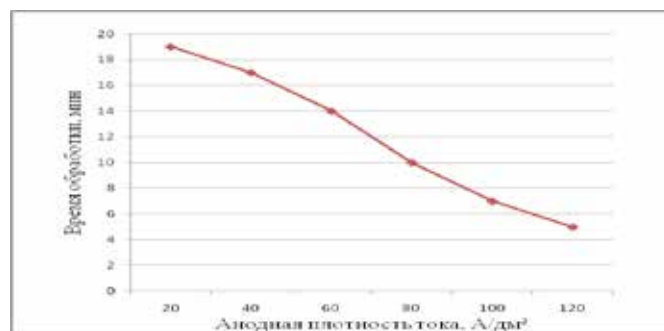
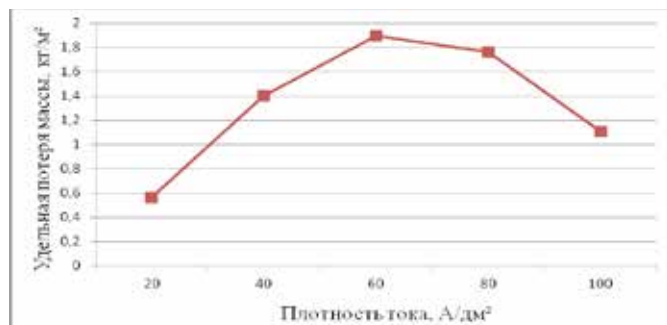


Рис. 3. Влияние плотности тока на длительность обработки сплава

Анализ полученных зависимостей показывает, что с увеличением плотности анодного тока в пределах 20-100 А/дм<sup>2</sup> закономерно увеличивается скорость растворения металла, оцениваемая по потере массы образца. Одновременно сокращается длительность анодной обработки, по истечении которой устанавливается неизменное состояние поверхности, фиксируемое визуально при увеличении ×30.

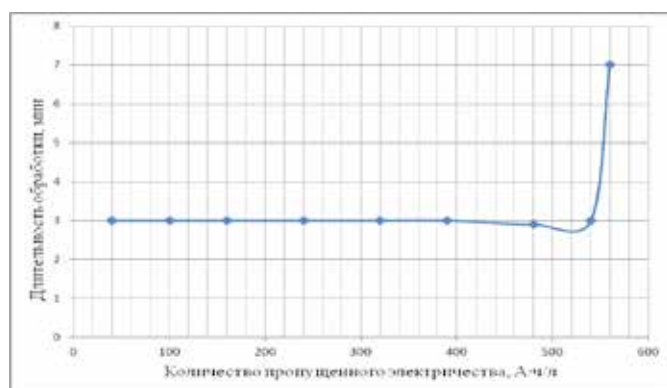
При оценке экономической эффективности электрохимической анодной обработки важно знать общие потери обрабатываемого материала, которые включают как поверхностный окисленный слой, так и чистый металл. Общая величина съема материала при анодной обработке при различных плотностях тока представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Зависимость удельной потери массы металла от плотности тока**

Зависимость эта имеет экстремальный вид с максимумом съема материала при плотности тока 60 А/дм². Такая закономерность позволяет управлять процессом электрохимической обработки, снимая требуемую толщину слоя материала.

Важной технологической характеристикой электролита является длительность его работоспособности без корректирования состава. Изменение работоспособности связано с накоплением продуктов растворения и их влиянием на физико-химические свойства раствора (плотность, вязкость, электропроводность) а также с выработыванием агрессивных компонентов электролита (рис. 5).



**Рис. 5. Зависимость длительности обработки высокохромистого сплава от количества пропущенного электричества**

Эксперимент показал, что электролит резко снизил свою активность, что проявилось в увеличении времени для очистки образца, после того, как через электролизер было пропущено количество электричества, равное около 540 А·ч в расчете на 1 л раствора. Расчет эффективности процесса очист-

ки проволоки высокохромистого сплава диаметра 3 мм в предлагаемом электролите по методике, изложенной в [7] показал, что в 1 м³ электролита при плотности тока 80 А/дм² может быть обработано около 5 тонн материала.

## Выводы

1. Исследовано влияние состава электролита, содержащего фосфорную и серную кислоты, и плотности анодного тока на длительность и качество электрохимической очистки проволоки высокохромистого сплава.

2. Установлено, что оптимальным раствором для электрохимической очистки высокохромистого сплава есть электролит состава 60 %  $H_3PO_4$  + 20 %  $H_2SO_4$  + 20 %  $H_2O$ , который обеспечивает высокопроизводительную и качественную очистку материала при анодной плотности тока 40-80 А/дм², длительность процесса очистки при этом составляет 3-6 минут.

3. Определена длительность сохранения травильных способностей предлагаемого электролита. Для данного электролита общая энергоёмкость составляет около 540 А·ч/л, что обеспечит обработку около 5 тонн проволоки высокохромистого сплава диаметром 3 мм до замены электролита при объеме рабочего раствора 1 м³.

## Библиографический список

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. Под ред. Б. С. Митина. М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
2. Майтак Г. П., Юденкова И. Н. Электрохимическое полирование хрома. // Журнал прикладной химии. – 1969. – Т. 42. – № 4. – С. 817-823.
3. Грилихес С.Я. Электрохимическое полирование. Л.: Машиностроение, 1976. – 208 с.
4. Кричмар С. И., Пронская А. Я. Диффузионная кинетика и механизм выравнивания шероховатостей при анодном растворении меди // Журнал физической химии. – 1965. – Т. 39. – № 6. – С. 1373-1378.
5. Витенберг Ю. Р. Шероховатости поверхности и методы ее оценки. Л.: Судостроение, 1971. – 105 с.
6. Пинчук С. Й. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем. – Днепропетровск: ООО «Независимая издательская организация «Дива»», 2008. – 248 с.
7. Исследование закономерностей катодного восстановления железа из отработанных травильных растворов /С. Й. Пинчук, А. М. Грещик, Е. В. Белая, А. Н. Ковзик // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2010. – № 6. – С. 72-73.

Поступила 08.04.2014