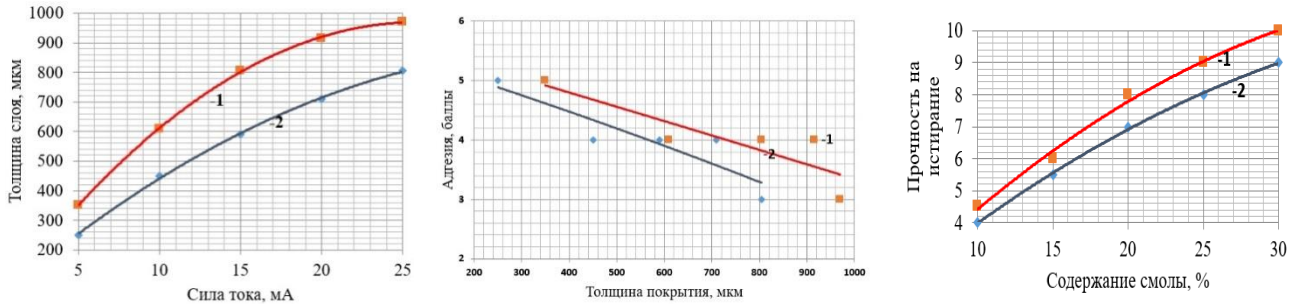


а б с

1 – покрытие на основе скрытокристаллического графита;
2 – покрытие на основе дистен-силлиманита

Рисунок 2 – Графические зависимости формирующейся толщины слоя, адгезии и прочности прорытия

Результаты исследований показывают (рисунок 2), что определяющим параметром при формировании слоя покрытия заданной толщины является сила тока, которая в свою очередь определяет напряженность электростатического поля, где частицам покрытия сообщается электростатический заряд. Установлено, что при увеличении силы тока от 5 до 25 мА толщина слоя увеличивается от 250 мкм до 805 мкм для покрытия на основе дистен-силлиманита и от 350 мкм до 970 мкм для скрытокристаллического графита. Также установлено, что при увеличении толщины слоя от 250 мкм до 805 мкм адгезионные свойства ухудшаются с 5 до 3 баллов для обоих типов покрытий. Определяющим параметром при формировании прочности высокоогнеупорного покрытия является содержание полиэфирной смолы в его составе. Полиэфирная смола обеспечивает неразрывную связь между собой частичек высокоогнеупорного наполнителя и тем самым оказывает влияние и на другие прочностные характеристики. Установлено, что при увеличении процентного содержания полиэфирной смолы от 10 до 30% прочность на истирание пропорционально увеличивается от 4 кг/мм до 9 кг/мм для покрытия на основе дистен-силлиманита и от 4,5 кг/мм до 10 кг/мм для скрытокристаллического графита.

УДК 621.9.047.7:621.923

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

Нисс В.С., Королёв А.Ю., Янович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Summary. *The results of modeling the current density distribution during electrochemical polishing of steels with a high carbon content using electrolytes based on organic solvents are presented.*

Для решения проблемы качественного электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода нами разработан способ, который заключается в применении импульсного технологического тока и использовании в качестве электролитов безводных или маловодных растворов на основе органических растворителей. Электропроводность таких электролитов обычно на 1–2 порядка ниже электропроводности водных растворов [1]. По результатам исследований разработанного способа установлены электролиты и режимы электрохимического полирования сталей машиностроительного назначения с повышенным

содержанием углерода таких как 45, 65Г и У10А, обеспечивающие высокие показатели качества поверхности (низкое значение шероховатости обработанной поверхности и высокая отражательная способность).

В работе приводятся результаты моделирования распределения плотности тока при электрохимическом полировании сталей с повышенным содержанием углерода в электролите на основе органических растворителей.

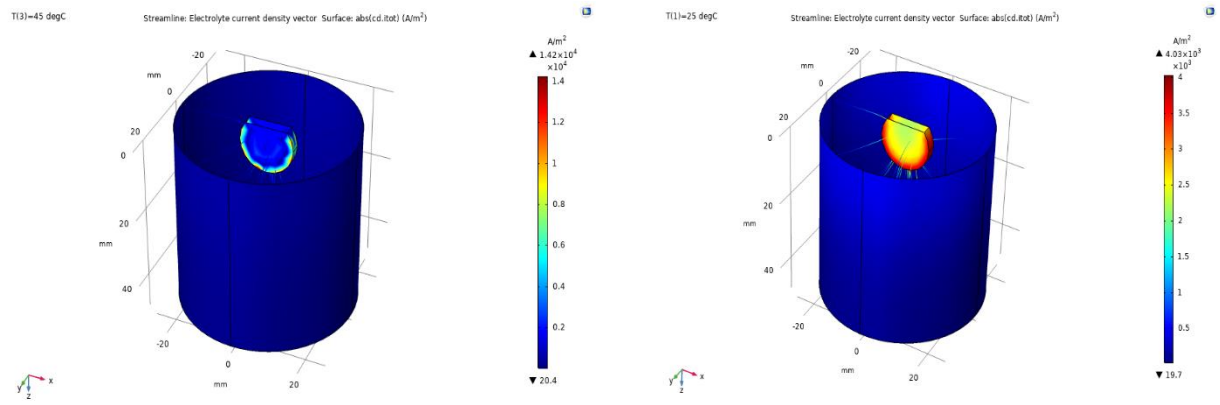
Одним из наиболее важных аспектов в геометрии электрохимических ячеек является распределение плотности тока в электролите и электродах. Неравномерное распределение плотности тока может быть вредно для электрохимических процессов. Во многих случаях части электрода, которые подвергаются высокой плотности тока, обрабатываются с большей скоростью и неравномерно. Знание текущего распределения плотности тока также желательно для оптимизации потребления энергии. Излишне высокие перенапряжения приводят к потерям энергии и, возможно, нежелательным побочным реакциям, также могут быть другие эффекты, которые необходимо минимизировать. Электролитическое полирование сопровождается изменениями анодного потенциала во время процесса в соответствии с превалирующей на отдельных участках полируемых изделий плотностью тока. Такое распределение тока с точки зрения равномерности съема было бы наименее желательным.

В данном исследовании моделируются первичное и вторичное распределение плотности тока в электрохимической ячейке, разработанной для исследования влияния геометрических особенностей анода и характеристик применяемых электролитов на распределение плотности тока. Для создания модели использована программа Comsol 5.4.

Модель создается с использованием интерфейса вторичного распределения тока с постоянной проводимостью электролита 0,14 См/см. Кинетика анода определяется с помощью экспериментальных данных поляризации, зависящие как от потенциала электрода, так и от температуры, как показано на рис. 2. Средняя плотность тока 3000 А/м^2 используется для анода. Предполагается, что кинетика катода (выделение водорода) очень быстрая, так что можно использовать условия первичного тока. Потенциал катода установлен на 0 В.

Кинетика анода определяется с помощью экспериментальных данных поляризации, зависящие как от потенциала электрода, так и от температуры. Средняя плотность тока 3000 А/м^2 используется для анода. Предполагается, что кинетика катода (выделение водорода) очень быстрая, так что можно использовать условия первичного тока. Потенциал катода установлен на 0 В.

Задача решается с помощью стационарного исследования с вспомогательной разверткой, используемой для температур 25 °С, 35 °С и 45 °С. Для моделирования принимались образцы из стали У10А в виде дисков диаметром 16 мм и толщиной 3 мм. Образцы погружались в электролит частично. Площадь погружаемой части образцов составляла 5 см^2. Для поддержания плотности тока 3000 А/м^2 рабочее напряжение регулировалось в пределах 0–15 В. На основании определенной конфигурации строится расчетная сетка конечных элементов для всех частей модели. Полученные результаты моделирования для первичного распределения плотности тока представлены на рис. 1.



а б

а – первичное распределение; б – вторичное распределение

Рис. 1. Результаты моделирования для первичного и вторичного распределения плотности тока

По результатам выполненного моделирования установлено, что при обработке в электролите состоящем из 20 % (масс.) раствора хлорной кислоты в растворителе на основе ледяной уксусной кислоты при температуре 25–45 °С и описанном расположении анода и катода, возникает неравномерное распределение плотности тока в электролите у поверхности анода и существенная ее зависимость от температуры электролита. Разница плотности тока между кромкой образца и его средней частью составляет до 0,2 А/см^2. При более высокой температуре электролита происходит преимущественное увеличение плотности тока на кромке погруженной части анода до 0,44 А/см^2 при 45 °С по сравнению с 0,40 А/см^2 при 25 °С. При 25 °С также наблюдается более равномерное распределение плотности тока по поверхности детали. Сравнение результатов моделирования первичного и вторичного распределения плотности тока показывают, что рассчитанная первичная плотность тока 0,145 А/см^2 не соответствует экспериментальным данным.

Литература

1.Применение электролитов на основе органических растворителей для электрохимического полирования сталей с повышенным содержанием углерода / В.С. Нисс, Ю.Г. Алексеев, В.А. Янович // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 25-26 апреля 2019 г. / редкол.: М.Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: БРУ, 2019. – С. 144–145.

2.Разработка процессов электрохимического полирования, глянцевания и удаления заусенцев на сталях машиностроительного назначения с высокой концентрацией углерода в многокомпонентных электролитах на основе органических растворителей / В. С. Нисс и др. // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка: сб. докл. 11-го междунар. симп., Минск, 10-12 апреля 2019 г. / НАН Беларуси [и др.] редкол.: А. Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. - Минск: Беларуская навука, 2019. – С. 63–66.