

Список литературы: 1. Физико-математическая модель процесса электроимпульсного полирования / Ю.В. Синькевич, И.Н. Янковский// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2006 – Вып. 32. – С. 206 – 212. 2. Ваграмян А.Т., Ильина-Какуева Т.Б. Распределение тока на поверхности электродов при электроосаждении металлов. – М.: Metallurgizdat, 1956. – 66 с. 3. Кудрявцев Н.Т. Электролитические покрытия металлами. - М.: Химия, 1979. – 352 с. 4. Грилихес С.Я. Электрохимическое и химическое полирование: Теория и практика. Влияние на свойства металлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1987. – 232 с.

Сдано в редакцию 29.01.07

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Синькевич Ю.В., Янковский И.Н. (БНТУ, г. Минск, Беларусь)

High-performance ecologically safe technology of electro impulse polishing is offered on the basis of the comparative analysis of technologies of a finish machining of a surface of fuel cells. The new method of precision polishing of lengthy items is offered and theoretically justified

Введение

При изготовлении высокоточных деталей и изделий, в частности тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), очень остро стоит вопрос обеспечения заданных точности обработки и качества поверхности. На комплектующих деталях тепловыделяющих сборок и ТВЭЛлах не допускается наличие заусенцев и термических окисных пленок, поверхности должны иметь заданную шероховатость с однородной микроструктурой, а сварные швы не иметь склонности к межкристаллитной коррозии (МКК). На специализированных предприятиях для финишной обработки поверхности этих изделий используют несколько жестко регламентированных штатных технологий.

Целью настоящей работы являлся анализ и оптимизация технологии финишной обработки поверхности ТВЭЛлов.

Методы исследований

Для проведения исследований и испытаний были изготовлены макеты ТВЭЛлов с использованием медного порошка вместо топливной композиции. После термических операций поверхность макетов была покрыта темной окисной пленкой различного цвета и толщины. Окончательно обработанные ТВЭЛлы контролировались на соответствие требованиям чертежа, а также контролировались остаточная толщина оболочки ТВЭЛа и склонность сварных швов к МКК. Величина съема металла при обработке определялась по результатам измерений размеров макетов в одних и тех же сечениях до и после обработки с помощью рычажной скобы с ценой деления 1 мкм. Однородность поверхности оценивалась визуально, а микроструктура изучалась на микроскопе ММУ-3 при увеличении $\times 56$. Снятие профилограмм и автоматизированная обработка параметров шероховатости поверхности проводилась на перфометре S8P в соответствии с ГОСТ 2789-73. Склонность сварных швов к МКК исследовалась методом АМУ по ГОСТ 6032-89.

Результаты и обсуждение

В качестве критериев пригодности технологий для финишной обработки поверхности ТВЭЛлов были приняты следующие:

- величина съема металла при обработке должна обеспечивать гарантированное

нахождение остаточной толщины оболочки ТВЭЛов в заданном допуске;

- однородность поверхности, ее микроструктура и шероховатость при применении новых технологий должны быть не хуже, чем при использовании штатных технологий финишной обработки;

- у обработанных сварных швов должна отсутствовать склонность к МКК.

Основная штатная технология финишной обработки поверхности ТВЭЛов предусматривает проведение следующих операций:

1. Травление поверхности изделий в водном растворе азотной кислоты и фтористого аммония с последующей промывкой в холодной проточной воде.

2. Электрохимическое полирование в электролите, содержащем ортофосфорную и серную кислоты с добавкой глицерина, с последующей промывкой изделий в ваннах улавливания, с холодной проточной, с горячей водопроводной и горячей дистиллированной водой и сушкой изделий хлопчатобумажной салфеткой.

Недостатком этой технологии является использование раствора, содержащего особо агрессивное вещество первого класса опасности – плавиковую кислоту, образующуюся при взаимодействии фтористого аммония с азотной кислотой.

Для исключения из технологии фторсодержащего раствора была опробована штатная технология травления окисной пленки, включающая две стадии:

1. Разрыхление окисной пленки в водном растворе гидроксида натрия и марганцовокислого калия с последующей промывкой в горячей и холодной дистиллированной воде.

2. Растворение окислов в водном растворе лимонной кислоты и трилона Б с последующей промывкой первоначально в подкисленной и окончательно в холодной и горячей дистиллированной воде.

Суммарное время одного цикла травления по этой технологии составило 60 мин. После травления окисной пленки макеты ТВЭЛов электрополировались по основной штатной технологии.

Из восьми макетов изделий, обработанных по второй технологии, на четырех окисная пленка была удалена за один цикл травления, а на остальных осветление поверхности было достигнуто за три цикла.

Исследовалась также возможность совмещения в одной операции удаления окисной пленки и полирования поверхности с помощью электрохимического полирования на постоянном токе. Был опробован ряд электролитов на основе ортофосфорной и серной кислот с добавками глицерина, щавелевой и лимонной кислот, а также поверхностно-активных веществ. Было установлено, что одновременное удаление окисной пленки и полирование поверхности в указанных электролитах возможно только при относительно большом (порядка 30 мкм на сторону) съеме металла, что может привести к повышенной вероятности появления брака по критерию "остаточная толщина оболочки". При меньшем съеме металла на обработанной поверхности наблюдались точечные язвы, обусловленные первичным растворением металла по дефектам окисной пленки.

Как один из вариантов технологии, совмещающей в одной технологической операции удаление окисной пленки и полирование поверхности, была опробована технология электроимпульсного полирования (ЭИП), заключающаяся в создании вокруг изделия, погруженного в электролит, парогазовой оболочки и ее физико-электрохимическом взаимодействии с поверхностью изделия [1]. Обработка макетов ТВЭЛов проводилась на установке ЭИП-1 в течение 2, 5 и 8 мин. После обработки изделия последовательно промывались в горячей и холодной дистиллированной воде, после чего протирались хлопчатобумажной салфеткой. В результате обработки окисная пленка была полностью удалена во всех случаях, макеты имели гладкую блестящую поверхность. Было установлено,

что термическая окисная пленка полностью удаляется за 20...30 сек., однако шероховатость поверхности при этом не достигала заданных значений параметров.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Поскольку в производственных условиях изделия полируются, как правило, на многоместных подвесках, а глубина погружения каждого изделия в ванну различна, то важно знать, влияет ли глубина погружения при ЭИП на величину съема металла. Исследования показали, что увеличение глубины погружения на каждые 100 мм приводит к увеличению съема металла на 4...9 %, причем эта зависимость имеет линейный характер. Объясняется это наличием избыточного гидростатического давления электролита по высоте ванны. Поэтому при обработке вертикально расположенных длинномерных изделий парогазовая оболочка имеет неравномерную толщину по длине изделия и принимает при ЭИП цилиндрического изделия форму обращенного к низу конуса. В этом случае частота электрических разрядов согласно [2] будет нарастать сверху вниз и, следовательно, нижняя часть изделия будет обрабатываться интенсивнее, чем его верхняя часть.

Таблица 1 – Состояние поверхности ТВЭЛов после финишной обработки

| Контролируемые параметры поверхности | Технология финишной обработки поверхности | | |
|---------------------------------------|---|---|------------------------------------|
| | Штатная технология №1 (однократное травление и полирование) | Штатная технология №2 (двукратное травление за 1 или 3 цикла и полирование) | Электроимпульсное полирование |
| Состояние поверхности, микроструктура | Светлая, блестящая, мелкозернистая | Светлая, блестящая, мелкозернистая, поперечная полосчатость | Светлая, блестящая, мелкозернистая |
| Склонность сварных швов к МКК | Отсутствует | Отсутствует | Отсутствует |
| Съем металла на сторону, мкм | 10...17 | 7...18 | 6...32 |
| Параметры шероховатости, мкм | | | |
| Ra | 0,25...0,77 | 0,11...0,31 | 0,03...0,24 |
| Rz | 1,32...4,02 | 0,65...1,76 | 0,15...1,24 |
| Rmax | 1,66...4,62 | 1,72...2,86 | 0,18...1,62 |

Для повышения точности обработки был разработан способ ЭИП, согласно которому в электролитической ванне вертикально размещают диффузор с расположенным в нем обрабатываемым изделием. Через диффузор во время полирования прокачивают электролит с определенной скоростью.

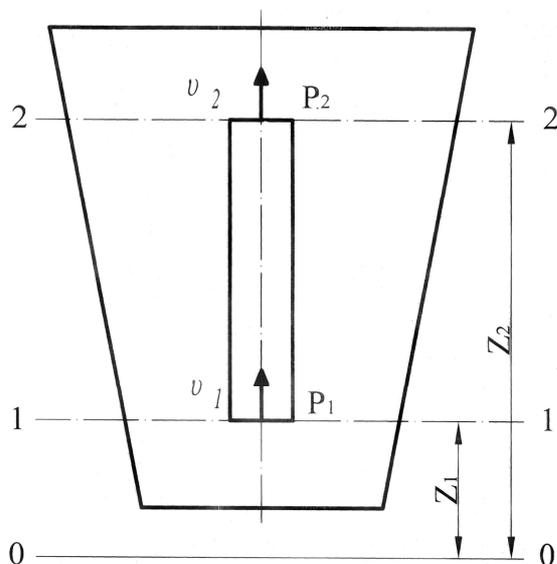


Рис. 1. – Расчетная схема

При выводе формулы для расчета скорости прокачки электролита было использовано уравнение Бернулли, устанавливающее связь между скоростью движения потока, давлением и геометрическим положением точки живого сечения. Расчетная схема приведена на рисунке 1. Для двух сечений потока 1 – 1 и 2 – 2 реальной жидкости при установившемся движении уравнение Бернулли имеет вид [3,4]

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_{w_{1-2}}, \quad (1)$$

где Z_1, Z_2 – ординаты, определяющие высоту положения центров выбранных сечений над произвольной горизонтальной плоскостью сравнения 0 – 0; P_1, P_2 – давление в плоскостях живого сечения соответственно 1 – 1 и 2 – 2; γ – удельный вес жидкости; α_1, α_2 – коэффициенты Кориолиса, учитывающие неравномерность распределения скоростей в живых сечениях потока 1 – 1 и 2 – 2; v_1, v_2 – средние скорости потока жидкости в сечениях 1 – 1 и 2 – 2; g – ускорение свободного падения; $h_{w_{1-2}}$ – потеря напора на преодоление сопротивлений от сечения 1 – 1 до сечения 2 – 2.

Потеря напора $h_{w_{1-2}}$ является следствием гидравлических сопротивлений и состоит из следующих слагаемых [4]

$$h_{w_{1-2}} = \sum h_{\text{дл}} + \sum h_{\text{м}},$$

где $\sum h_{\text{дл}}$ – потери напора на трение по длине; $\sum h_{\text{м}}$ – местные потери напора.

Потери напора на трение по длине $\sum h_{\text{дл}}$ определяются в общем случае по формуле Дарси – Вейсбаха [4]

$$\sum h_{\text{дл}} = \lambda \cdot \frac{l}{D_e} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина участка трубы, на которой определяются потери напора на трение; D_e – гидравлический диаметр трубы; v – средняя скорость потока.

При числе Рейнольдса $4000 < Re < 3 \cdot 10^6$ коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,0403 \dots 0,0096$ [4]. Расчеты показывают, что при длине обрабатываемого изделия до 0,5 м и средней скорости потока электролита в диапазоне 0,2...1,5 м/с потерями напора на трение по длине $\sum h_{\text{дл}}$ можно пренебречь, поскольку ее величина более чем на порядок меньше

остальных членов уравнения Бернулли. Местные потери напора $\sum h_m$ возникают из-за гидравлического сопротивления диффузора и сопротивления, обусловленного расположением обрабатываемого изделия в потоке электролита. Учитывая, что диаметр ТВЭЛа значительно меньше диаметра диффузора в любом его сечении, потерей напора из-за расположения ТВЭЛа в потоке электролита также можно пренебречь. Следовательно, на потерю напора $h_{w_{1-2}}$ в нашем случае влияет только сопротивление диффузора. Согласно [5] потеря напора в диффузоре может быть рассчитана по формуле

$$h_{\text{диф}} = \sum h_m = h_{w_{1,2}} = \xi_{\text{диф}} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}, \quad (2)$$

где $\xi_{\text{диф}}$ – коэффициент сопротивления диффузора, значения которого приведены в [5].

Точность обработки при ЭИП неразрывно связана с равномерностью толщины парогазовой оболочки, одинаковую толщину которой можно обеспечить за счет равенства давлений электролита во всех точках поверхности обрабатываемого изделия. Для рассматриваемого случая давление P_1 должно быть равно давлению P_2 .

Подставив (2) в (1) и выполнив преобразование уравнения Бернулли с учетом того, что длина обрабатываемого изделия $l_{\text{дем}}$ равна разности ординат Z_2 и Z_1 , а для турбулентных потоков согласно [3] коэффициенты Кориолиса можно принять равными 1, получим

$$v_1 = \sqrt{v_2^2 \cdot (1 + \xi_{\text{диф}}) + 2 \cdot g \cdot l_{\text{дем}}} \quad (3)$$

Уравнение Бернулли используется совместно с уравнением неразрывности потока, которое имеет вид [3]

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (4)$$

где S_1, S_2 – площади живого сечения потока в сечениях 1 – 1 и 2 – 2.

Как было показано выше, уменьшением площади живого сечения потока из-за расположения в диффузоре обрабатываемого изделия можно пренебречь. Тогда соотношение (4) можно представить в виде

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\pi \cdot d_2^2 \cdot 4}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}, \quad (5)$$

где d_1, d_2 – диаметры живого сечения потока (диаметры диффузора) в сечениях 1 – 1 и 2 – 2.

Подставив v_2 из (5) в (3) и выполнив несложные преобразования, получим формулу для расчета скорости прокачки электролита через диффузор

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot l_{дет}}{1 - \frac{d_1^4}{d_2^4} (1 + \xi_{оиф})}}$$

Зная скорость прокачки электролита, можно легко рассчитать конструкцию обрабатывающего модуля установки для ЭИП длинномерных изделий.

Выводы

1. Применение штатной технологии обработки поверхности ТВЭЛов приводит к удалению слоя металла на сторону толщиной 10...17 мкм и обеспечивает светлую блестящую поверхность мелкозернистой структуры с шероховатостью Ra = 0,25...0,77 мкм.

2. Замена операции удаления окисной пленки во фторсодержащем растворе на двукратное травление при аналогичных величинах съема металла значительно увеличивает продолжительность обработки (от 60 до 180 мин). Последующее электрохимическое полирование позволяет снизить шероховатость поверхности ТВЭЛов до Ra = 0,11...0,31 мкм. Однако, несмотря на операцию полирования, на обработанной поверхности наблюдаются следы полосчатости, имевшей место на исходных заготовках.

3. ЭИП за один цикл продолжительностью менее 2 мин. обеспечивает полное удаление окисной пленки с одновременным получением блестящей полированной поверхности мелкозернистой структуры с шероховатостью Ra = 0,08...0,15 мкм и исключает применение растворов кислот. Съем металла имеет линейную зависимость (3...4 мкм/мин на сторону), определяется продолжительностью обработки и при 3...4 мин. не превышает значений, имеющих место при использовании штатных технологий обработки. Поэтому с точки зрения обеспечения заданных точности и качества поверхности, снижения трудоемкости и повышения экологической безопасности производства ТВЭЛов наиболее перспективной и экономически обоснованной является технология ЭИП.

4. Предложенный способ ЭИП позволяет управлять толщиной парогазовой оболочки и повысить точность обработки длинномерных изделий на 15...30 %.

Список литературы: 1. Метод электроимпульсного полирования металлов / Е.Я. Головкина, С.Н. Терехов, Ю.В. Синькевич, О.И. Авсеевич // Машиностроение. – Мн., 1988 – Вып. 13. – С. 40 – 43. 2. Физико-математическая модель процесса электроимпульсного полирования / Ю.В. Синькевич, И.Н. Янковский// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2006 – Вып. 32. – С. 206 – 212. 3. Справочник по гидравлике // Под ред. В.А.Большакова. – К: Вища школа, 1984. – 342 с. 4. Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. – Мн: Вышэйшая школа, 1976. – 415 с. 5. Яньшин Б.И. Гидродинамические характеристики затворов и элементов трубопроводов. Конфузоры, диффузоры и затворы. – М.: Машиностроение, 1965. – 259 с.

Сдано в редакцию 30.01.07