УДК 66.061.4

СИНТЕЗ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ АЛЮМИНИЯ

Гончаров В.В.[1], Зажигалов В.А.[2]

[1]*Институт химических технологий Восточноукраинского национального университета имени В.Даля, Рубежное, Украина,*
[2]*Институт сорбции и проблем эндоэкологии НАН Украины, Киев, Украина*

АННОТАЦИЯ

С помощью ионной имплантации синтезированы образцы на основе металлической фольги (сталь марки 12Х18Н10Т) толщиной 0,1 мм. Один из них дополнительно пропитали палладием.

Проведено сравнение коэффициентов теплоотдачи от полученных образцов и нихромовой спирали в зависимости от потребляемой мощности. Установлено, что теплоотдача от образцов, модифицированных ионами алюминия и азота, к воздуху выше, чем для необработанного носителя.

Показано, что температуры поверхности обработанных образцов выше, чем у исходного и нихромового при одинаковой потребляемой мощности.

Установлено также, что значительное повышение температуры на поверхности синтезированных образцов не ведет к последующему изменению их свойств, то есть демонстрирует термическую стабильность слоя активных компонентов на поверхности носителя из фольги.

ВВЕДЕНИЕ

Теплообмен - важная составляющая многих химических процессов. Именно поэтому, во многих случаях, эффективность конкретной технологической стадии лимитируется теплоотдачей. Особенно это имеет значение в гетерогенном катализе, с помощью которого можно решить большое количество проблем энергетики, экологии, химической технологии и др. На данный момент, гетерогенные катализаторы приобрели распространенность не только в процессах сжигания и конверсии углеводородов, нейтрализации вредных выбросов двигателей, синтеза полимеров, но и при создании бытового газового оборудования (водообогревателей, газовых плит и др.), каталитических микрореакторов, походных обогревателей и т. д. [1-6]. В этом аспекте перспективным является использование катализаторов, нанесенных на металлические носители: волокно, сетку, фольгу, пластины [7-11]. Композиции на таких носителях имеют ряд преимуществ перед другими нанесенными системами. У них высокая электропроводность, механическая прочность, теплопроводность, термическая стойкость. Перспективным материалом в качестве носителя может быть сталь 12Х18Н10Т, которая очень распространена в химической промышленности.

В настоящее время большое внимание уделяется технологиям, которые способны создавать наноматериалы или модифицировать материалы на наноуровнях [12, 13]. Это позволяет получать каталитические композиции с очень малым содержанием драгоценных активных компонентов и дает возможность комбинировать механические и термические характеристики носителей с физико-химическими свойствами каталитических частиц.

В этом аспекте наиболее актуальной технологией является ионная имплантация. Этот метод позволяет модифицировать поверхность образца благодаря внедрению в нее ионов почти любого элемента [14-16]. Ионная имплантация имеет такие преимущества, по сравнению с другими методами обработки поверхностей, как: возможность вводить (имплантировать) любую примесь, в любой концентрации, в любой материал; малая толщина легированного слоя (до микрона), контролируемость и полная автоматизация технологи-

ческого процесса, высокая адгезия, которая нивелирует опасность отслаивания покрытия, поскольку активный компонент не нанесен, а частично внедрен в поверхность носителя. Изделия, обработанные ионной имплантацией, не только приобретают высокую износостойкость, твердость, прочность, но у них также растет сопротивление эрозии, коррозии, термическому оксидированию и др. Это позитивно влияет на эффективность теплообменной аппаратуры, изготовленной из металлов, обработанных ионной имплантацией.

Поскольку ионная имплантация изменяет физико-химические свойства поверхности, то можно ожидать непосредственного влияния на теплоэнергетические характеристики образцов, изготовленных с помощью данной технологии.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ

Для исследования были взяты три образца из металлической фольги (сталь марки 12Х18Н10Т) толщиной 0,1 мм и один образец (стандарт для сравнения) из нихромовой спирали (сплав марки Х20Н80) диаметром 1,1 мм для определения теплоэнергетических свойств. Стальные образцы нарезали в форме ленты 1800 мм × 5 мм и гофрировали с целью укладки в концентрические каналы керамической основы исследовательской установки (рис.1).

Рис.1 Керамическая основа с образцом

После механической подготовки (гофрирования) два образца были обработаны на установке ионной имплантации (ионами Al, N), а один из них еще и пропитали палладием.

Имплантацию алюминия и азота проводили на электронно-вакуумном оборудовании (рис.2) со следующим режимом. Давление в камере $10^{-4} \div 10^{-5}$ Па, потенциал на мишени 1÷2 кВ, потенциал на образце 30÷40 кВ. В результате процеса поверхностная концентрация имплантированых компонентов составляла около $5 \cdot 10^{17}$ ион/см^2.

Пропитку проводили в растворе Na_2PdCl_4 в течение одного часа.

Таким образом, было проведено исследование свойств четырех образцов :

1) Образец №1 - исходная, не обработанная стальная лента (фольга);

2) Образец №2 - стальная лента, обработанная ионами алюминия и азота по методу ионной имплантации;

3) Образец №3 - стальная лента, обработанная ионами алюминия и азота по методу ионной имплантации с дальнейшим нанесением на поверхность Pd методом пропитки;

4) Образец №4 - нихромовая спираль, как самый распространенный элемент в стандартных электронагревателях.

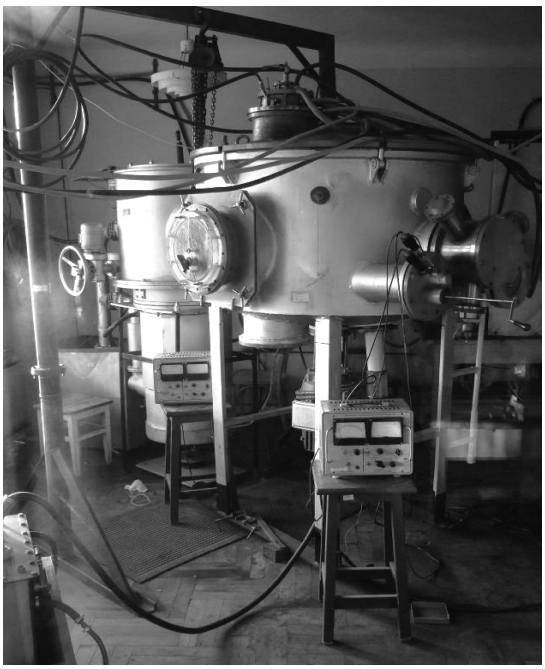

Рис.2 Установка ионной имплантации

© Гончаров В.В., Зажигалов В.А.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ

В результате исследования процесса нагрева воздуха были получены данные электрических параметров (напряжение, сила тока), температур образцов при расходе воздуха 600 л/ч. Расчетной величиной является общий коэффициент теплоотдачи.

Расчет стальных образцов проводили, приняв за модель обтекание плоской вертикальной стенки. Расчет нихромового образца проводили, приняв за модель обтекание цилиндра.

Для стальной фольги алгоритм расчета следующий.

Определение коэффициента конвективной теплоотдачи:

$\alpha_K=Nu\cdot\lambda/\ell$

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

Nu - критерий Нуссельта;

ℓ - ширина ленты фольгового образца, м.

При этом в условиях расхода воздуха 600 л/ч:

$Nu=0{,}664\cdot Pr^{0,33}\cdot Re^{0,5}$

где Pr - критерий Прандтля для воздуха;

Nu - критерий Нуссельта;

Re - критерий Рейнольдса.

Определение коэффициента радиационной теплоотдачи:

$\alpha_p=(\sigma\cdot\varepsilon/\Delta t)\cdot(\Theta^4-t^4)$

где Δt - средняя разница температур, град;

ε - степень черноты образца;

σ - постоянная Стефана - Больцмана, Вт/(м^2·град^4);

Θ - температура образца, град;

t - температура воздуха, град;

αp - коэффициент радиационной теплоотдачи, Вт/(м^2·град).

Определение общего коэффициента теплоотдачи:

$\alpha=\alpha_K+\alpha_p$

Для нихромовой спирали алгоритм расчета следующий.

Определение коэффициента конвективной теплоотдачи в условиях расхода воздуха 600 л/ч:

$\alpha_K=\varphi\cdot Nu\cdot\lambda/\ell$

где φ - коэффициент формы, φ=0,8.

При этом:

$Nu=0{,}43+0{,}55\cdot Pr^{0,38}\cdot Re^{0,5}$

Все последние величины рассчитываем также как и для стальных образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.3 приведенна зависимость рассчитанного общего коэффициента теплоотдачи от мощности тока, которым нагревали образец.

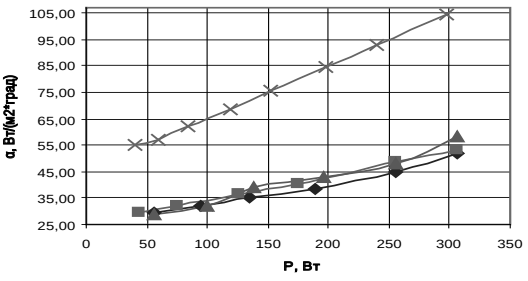

Рис.3 Зависимость общего коэффициента теплоотдачи от мощности при расходе воздуха 600 л/ч для образцов: ♦ - необработанная сталь; ■ - сталь с имплантированным алюминием; ▲ - сталь с имплантированным алюминием и химически нанесенным палладием; ∞ - нихром

С другой стороны, известно, что коэффициент теплоотдачи - это удельная величина, которая зависит от многих факторов, в том числе и от формы, геометрии, расположения элемента нагрева и потому не может быть единственным критерием оценки теплофизических свойств материала. В этой связи, нами были определены температуры поверхности образцов (рис.4), потому что последние имеют решающее значение при проведении каталитической реакции.

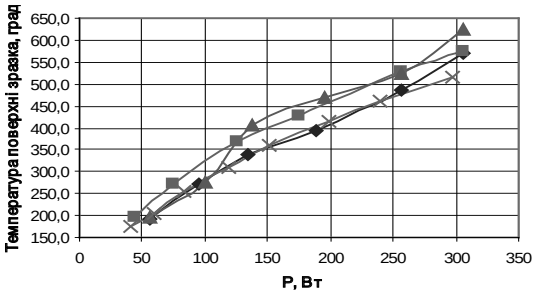

Рис.4 Зависимость средней температуры поверхности от мощности при расходе воздуха 600 л/ч для образцов: ♦ - необработанная сталь; ■ - сталь с имплантированным алюминием; ▲ - сталь с имплантированным алюминием и химически нанесенным палладием; ∞ - нихром

При низкой мощности тока образцы имеют практически идентичную среднюю температуру на поверхности. При повышении мощности (больше 100 Вт) средняя температура поверхности синтезированных композитов из металлической фольги приблизительно на 50 градусов выше, чем у нихрома.

Учитывая, что при гетерогенно-каталитическом механизме реакции происходят на поверхности катализатора, этот факт является позитивным, т. к. возникает возможность запуска реакции при более низкий мощности тока. Это делает перспективным использование синтезированных катализаторов в качестве нейтрализаторов выхлопных газов двигателей. Кроме того, эти образцы могут быть использованы в качестве элементов нагрева в электроприборах.

Установлено также, что повышение температуры на поверхности синтезированных образцов не ведет к последующему изменению их свойств, то есть демонстрирует термическую стабильность слоя активных компонентов на поверхности носителя из фольги.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Синтезированые ионной имплантацией образцы могут быть использованы в качестве каталитических элементов с контролируемым нетрадиционным внутренним нагревом
- Теплоотдача от образцов, модифицированных ионами алюминия и азота, к воздуху выше, чем для необработанного носителя
- Температуры обработанных образцов выше, чем у исходного носителя и нихромовой спирали при одинаковой потребляемой мощности
- Очень малые расходы компонентов при обработке ионной имплантацией делают эту технологию перспективной для создания каталитических систем, в состав которых входят даже драгоценные металлы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попова Н.М. Катализаторы очистки выхлопных газов автотранспорта / Попова Н.М. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 223 с.
2. Попова Н.М. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств / Попова Н.М. – М.: Химия, 1991. – 176 с.
3. Катализ в С1-химии / [Под ред. В. Кайма]. – Л.: Химия, 1987. – 296 с.
4. Pd/Pt promoted Co3O4 catalysts for VOCs combustion preparation of active catalyst on metallic carrier / Joanna Łojewska, Andrzej Kołodziej, Jerzy Zak [та ін.] // Catalysis Today. – 2005. – №105 – С. 655-661.
5. Tomoyuki Inui. Recent advance in catalysis for solving energy and environmental problems // Catalysis Today. – 1999. – №51 – С. 361-368
6. Струтинская Л.Т. Термоэлектрические микрогенераторы. Современное состояние и перспективы использования // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008, №4. –с. 5-13.
7. Карташова Л.И., Сало В.И., Ларин В.В. Спосіб одержання металевого носія каталізатора. Патент України №29706А, кл. B01 J23/74. По заяві 97010060 від 04.01.97, друк 15.11.2000 р.
8. Гончаров В.В., Соловьев Г.И., Климаш А.А. Применение блочных металлофольговых и металловолокновых катализаторов для гетерогенно-каталитической конверсии метана перед газотурбинными установками // Материалы Международной конференции "Укркатализ-V" г. Киев, 4-6 июля 2006 г. с.42-44. Изд-во "Алвиго-КС" г. Северодонецк..
9. Климаш, А.А., Гончаров В.В., Соловьев Г.И. Применение цельнометаллических блочных катализаторов для сжигания каталитически стабилизированного метана в бытовых газовых аппаратах // Материалы Международной конференции "Укркатализ-V" г. Киев, 4-6 июля 2006 г. с.47-49. Изд-во "Алвиго-КС" г. Северодонецк.
10. Giornelli T. Preparation and characterization of VOx/TiO2 catalytic coatings on stainless steel plates for structured catalytic reactors / Thierry Giornelli, Axel Lofberg, Elisabeth Bordes-Richard // Applied Catalysis A: General. – 2006. – №305. – С. 197 203.
11. Catalytic wall reactor. Catalytic coatings of stainless steel by VOx/TiO2 and Co/SiO2

© Гончаров В.В., Зажигалов В.А.

catalysts / T. Giornelli, A. Lofberg, L. Guillou [та ін.] // Catalysis Today. – 2007. – №128 – С. 201-207.
12. Стрижак П.Е. Некоторые аспекты практического использования наноматериалов в катализе / Стрижак П.Е., Космамбетова Г.Р., Диденко О.З // Катализ в промышленности. – 2005. – №5. – С. 10 18.
13. Матюхин С.И. Ионная имплантация как метод внедрения атомных частиц в углеродные наноструктуры // Тез. докл. междунар. конф. «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии. - Кисловодск, Россия, 2002, с. 77-85.
14. Модифицирование и легирование лазерными, ионными и электронными пучками / [під. ред. Дж. М. Поута, Г. Фоти, Д.К. Джекобсона]. – М. : Машиностроение, 1987. – 424 с.
15. Беграмбеков Л.Б. Модификация поверхности твердых тел при ионном и плазменном воздействии / Л.Б. Беграмбеков. – М. : МИФИ, 2001. – 34 с.
16. Bannikov M.G. Application of ion beam processing technology in production of catalysts / M.G. Bannikov, J.A. Chatha, V.N. Zlobin [та ін.] // IIUM Engineering Journal. - 2001. - Vol. 2, №2. - с.1-5.