
Секция 3

КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ТЕХНИКЕ

УДК 67.02

А.А. Антонович

СТРУКТУРА СТАЛИ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ

Рассмотрена технология объемно-поверхностной закалки стали пониженной прокаливаемости. Показано, что структура стали значительно зависит от режимов термообработки.

Сущность метода объемно-поверхностной закалки (ОПЗ) состоит в том, что упрочняемое изделие, изготовленное из стали пониженной прокаливаемости, после поверхностного или сквозного нагрева подвергается интенсивному закалочному охлаждению. Применение специальной стали обеспечивает упрочнение поверхности только на глубину прокаливаемости для данной марки стали, а интенсивное охлаждение (как правило, в специальном устройстве) – равномерное распределение упрочненного слоя по поверхности, отсутствие закалочных трещин и минимальное коробление изделий.

Известно, что закалка стали пониженной прокаливаемости методом ОПЗ приводит к формированию градиентных структур. Характерной особенностью данной структуры является ее гомогенность и плавный переход от мартенсита к трооститу по мере удаления от упрочненного слоя к сердцевине, что обуславливает заданные сочетания прочностных, триботехнических и усталостных характеристик. Однако для получения требуемых структур необходимо верно подобрать режимы термической обработки.

Цель проведенной работы – исследовать изменение структуры стали пониженной прокаливаемости при изменении режимов ОПЗ.

В данной работе закалка образцов из стали пониженной прокаливаемости (60 ПП ТУ 14-1-1926-76) проводилась на установку ТВЧ барабанного типа, методом ОПЗ, на производстве ОАО «Белкард». Закалка производилась при различных режимах.

Результаты показали, что при недогреве стали структура представляет собой тонкие включения феррита в мартенсите. При перегреве структура – крупноигольчатый мартенсит. При нормальных режимах термообработки – среднеигольчатый мартенсит.

Таким образом, установлена зависимость между режимами термообработки и структурой, а также глубиной и твердостью закаленной стали.

Список литературы

1. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В.И.Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Минск: Тэхналогія, 2006. – 409 с.
2. Гордиенко, А.И. Обработка изделий машиностроения с применением индукционного нагрева / А.И. Гордиенко, П.С. Гурченко. – Минск: Белар. Навука, 2009.
3. Струк, В.А. Материаловедение / В.А. Струк, Л.С. Пинчук [и др.]. – Минск, ИВЦ Минфина, 2008.

The technology of the volume-surface hardening of low hardenability steel. It is shown that the structure became much depends on the heat treatment.

Антонович Александр Анатольевич, магистрант 2 курса заочного отделения, факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, gybio85@mail.ru.

Научный руководитель – *Кравченко Виктор Иванович*, кандидат технических наук, профессор, кафедра материаловедения и ресурсосберегающих технологий, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.383.46

А.М. Артамонов, Ю.А. Родионов

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье рассмотрена лабораторная установка вакуумного напыления. Описанное оборудование использовалось при создании образцов многокомпонентных солнечных элементов.

Современные требования к прецизионным покрытиям требуют применения не только особых технологических решений, но зачастую и комбинации различных технологий напыления совместно со средствами спектрального контроля.

Установка вакуумного напыления представляет собой вакуумное оборудование периодического действия. Установка оснащена механическим вакуумным насосом для предварительной откачки и системой высоковакуумной откачки на турбомолекулярном насосе [1].

Конструктивно установка состоит из напылительной и шлюзовой камер, разделенных между собой затвором. Внутри напылительной камеры расположены ионные источники очистки и распыления, а также шестипозиционный механизм поворота мишеней, три позиции которого имеют в своем конструктиве магнитную систему (магнетроны).

В шлюзовой камере находится устройство загрузки, нагрева и вращения образцов. При помощи механизма подъема шлюзовой камеры и подачи образцов устройство загрузки через открытый затвор опускается в напылительную камеру.

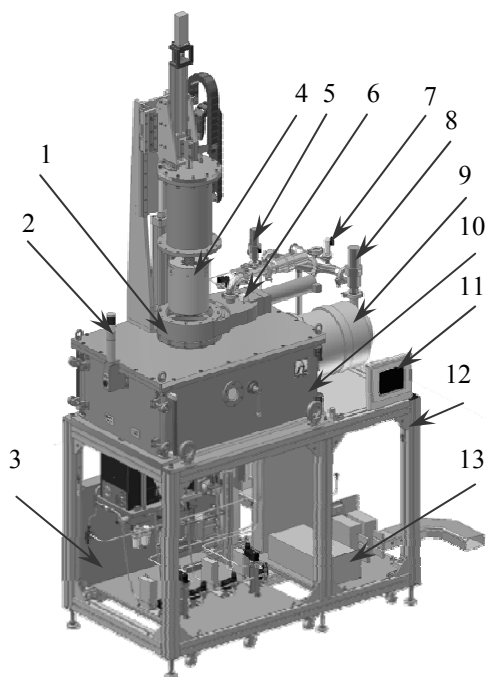
Высокий вакуум в напылительной и шлюзовой камерах создается турбомолекулярным насосом.

На рисунке 1 представлен общий вид установки. Для создания солнечных элементов применялась модификация стандартной вакуумной напылительной системы. В модифицированной системе было предусмотрено совместное магнетронное распыление из нескольких источников. Для создания многокомпонентного активного поглощающего слоя со структурой халькопирита $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$.

Программное обеспечение (ПО) обеспечивает возможность управления вакуумным технологическим оборудованием (ВТО) в целом, а так же входящими в его состав устройствами и системами в автоматическом и ручном режимах.

ПО обеспечивает:

- возможность создания, хранения, изменения, удаления технологических процессов испарения;
- возможность вывода ВТО на рабочий режим (достижение необходимых вакуумных условий) в автоматическом режиме;
- возможность нанесения покрытия, состоящего из нескольких слоев, в автоматическом режиме;
- возможность проверки работоспособности узлов и систем, входящих в состав ВТО.



**Рисунок 1 – Общий вид установки. 1 – затвор вакуумный;
2 – сигнальная колонна с кнопкой аварийного отключения; 3 – панель
с системой газовой и пневматической; 4 – устройство загрузки, нагрева
и вращения образцов; 5 – клапан напуска в шлюзовую камеру; 6 – датчик
давления; 7 – низковакуумный датчик; 8 – клапан откачки из вакуумной
камеры; 9 – турбомолекулярный насос; 10 – вакуумная камера;
11 – сенсорная панель управления; 12 – каркас установки;
13 – блок управления турбомолекулярным насосом**



1. Компания IZOVAC [Электронный ресурс] / Компания IZOVAC. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://www.izovac.com>. – Дата доступа: 25.01.2012

As a result of this work was studied vacuum sputtering system for solar cells manufacturing. Describes the changes needed to produce solar cells on this equipment. Results will be used to improve the technological parameter of the production solar sells.

Артамонов Артем Максимович, магистрант факультета микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, artamonov@izovac.com;

Родионов Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, youri_rodionov@tut.by.

Научный руководитель – *Родионов Юрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра микро- и нанoeлектроники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, yuri.rodionov@tut.by.

УДК 621.383.46

А.М. Артамонов, Ю.А. Родионов

СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА МНОГОКОМПОНЕНТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ

В данной статье рассмотрена типовая структура многокомпонентного полупроводника. Представлены результаты исследования структуры и электрических характеристик.

Ограниченность природных ресурсов на земном шаре и постепенное их истощение, а также ухудшающаяся экологическая обстановка вызывают необходимость поиска новых путей энергообеспечения, в том числе с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Из всех нетрадиционных и возобновляемых источников энергии самым крупным потенциалом обладает солнечная энергия.

Солнечный элемент – прибор, позволяющий преобразовывать энергию оптического излучения солнца в электрическую энергию без промежуточного конвертирования в другие формы энергии.

Работа солнечного элемента основана на внутреннем фотоэффекте в полупроводниковой структуре с р-п-переходом. СЭ наиболее простой конструкции представляет собой кристалл, состоящий из двух слоев различных типов проводимости.

Оптическое излучение, поглощаемое в полупроводниковой структуре с р-п-переходом, создает пары «электрон-дырка» при условии, что энергия кванта превышает ширину запрещенной зоны.

В состав многокомпонентных солнечных элементов входят полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$ такие, как GaAs, GaAlAs, GaInAsP, InAs, InSb, InP, обладающие почти идеальными характеристиками для фотовольтаического преобразования солнечного света [1].

Тройные полупроводники из твердого раствора $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ нашли свое применение в качестве высокоэффективных тонкопленочных солнечных элементов из-за высокого значения коэффициента поглощения (10^4 - 10^5 см⁻¹) и величины запрещенной зоны, близкой к положению максимума излучения солнечного спектра.

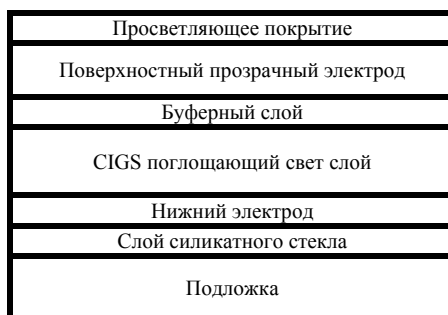


Рисунок 1 – Структура CIGS солнечного элемента

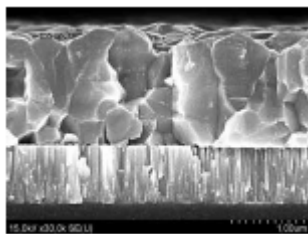
Требуемый конечный результат в технологии пленок CIGS состоит в получении пленочного слоя с толщиной в пределах 1-2 мкм, с поликристаллической крупнозернистой структурой типа халькопирита с определенной кристаллографической ориентацией. При этом должен быть обеспечен определенный профиль по толщине в соотношении концентраций $\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})$ и $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$, а содержанием селена близко соответствовать формуле $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$ [2].

Задача исследования состоит в исследовании получения работоспособных солнечных элементов с как можно большей эффективностью, разработке методов дальнейшего увеличения эффективности. Также – упрощение технологического процесса, уменьшение его энергоемкости для уменьшения затрат на производство, тем самым способствуя внедрению технологии.

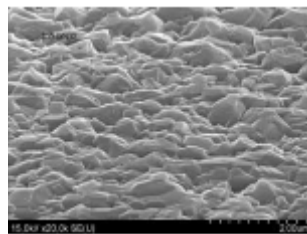
На рисунках 2 и 3 показаны типичные SEM-снимки скола и поверхности CIGS-пленки, сформированной на молибденовом слое, служащем электродом тыльного контакта в структуре. CIGS-слой обладает плотной крупнозернистой структурой. Типичные размеры зерен составляют единицы микрометров. Только вблизи слоя Mo встречаются зерна с размерами в доли микрометров. Форма зерен ближе к эквидистантной, нежели к столбчатой. Очень редки границы зерен, простирающиеся напрямую от поверхности CIGS до слоя Mo, что важно с точки зрения снижения в структуре СЭ токов утечки по границам зерен. Следует отметить, что подобная структура оптимальна для получения высокого шунтирующего сопротивления в эквивалентной схеме СЭ.

На рисунке 4 представлено изменение эффективности солнечного элемента в течение месяца, среднее значение напряжения, за этот

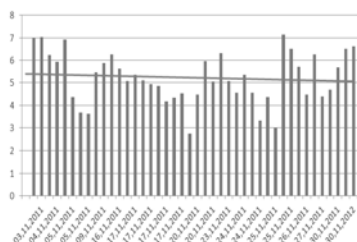
промежуток времени, составило 5В. Рисунок 5 показывает зависимость максимального напряжения на выводах солнечного элемента от интенсивности падающего излучения, интенсивность падающего излучения зависит от метеоусловий.



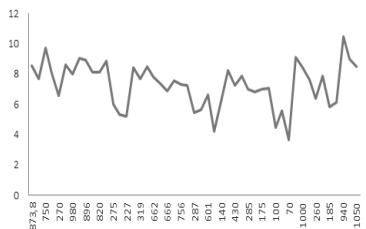
**Рисунок 2 – Скол CIGS
солнечного элемента**



**Рисунок 3 – Поверхность
CIGS-слоя солнечного
элемента**



**Рисунок 4 – Изменение
эффективности от времени**



**Рисунок 5 – Зависимость
напряжения от мощности
падающего излучения**

Список литературы

1. Гременок, В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. – 222 с.
2. Компания IZOVAC [Электронный ресурс] / Компания IZOVAC. – Минск, 2012. – Режим доступа : <http://www.izovac.com> – Дата доступа : 25.01.2012.

As a result of this work were obtained samples of solar cells. Solar cells were tested. The dependences were obtained of the efficiency changes and dependences of the voltage on the power of the incident radiation.

Артамонов Артем Максимович, магистрант факультета микро- и нанoeлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, artamonov@izovac.com.

Родионов Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, yougi_godionov@tut.by.

Научный руководитель – *Родионов Юрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра микро- и нанoeлектроники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, yougi_godionov@tut.by.

УДК 539.211

С.А. Баширов

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ ZnO/CdS/SnS

Тонкие плёнки SnS получены методом «горячей стенки». На основе полученных пленок созданы фоточувствительные структуры ZnO/CdS/SnS. Исследованы фотоэлектрические характеристики полученных структур.

Сульфид олова (SnS), благодаря высокому коэффициенту поглощения в видимой и ближней инфракрасной области спектра представляет интерес в качестве поглощающего материала для оптоэлектроники. Среди достоинств SnS также отмечают химическую стабильность, нетоксичность и низкую стоимость в связи с широкой доступностью компонентов [1].

Ранее сообщалось о получении тонких пленок SnS на различных подложках [2, 3] и о создании на их основе фоточувствительных тонкопленочных барьеров Шоттки In/p-SnS [4]. В настоящей работе описаны сформированные на основе тонких пленок SnS фоточувствительные структуры ZnO/CdS/SnS.

Тонкие пленки SnS получены методом «горячей стенки» [5].

Формирование фоточувствительных гетероструктур ZnO/CdS/SnS осуществлялось путём химического осаждения на поверхность пленок SnS на подложках из стекла с подслоем молибдена слоев CdS с использованием трехкомпонентного водного раствора, содержащего 1 моль/л аммиака, $1,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л иодида или сульфата кадмия и 0,14 моль/л тиомочевины, в течение 4 мин при температуре 60 °С с последующим напылением методом магнетронного распыления из

цинковых мишеней в атмосфере аргона с добавкой 10 % кислорода слоя ZnO, на который затем методом магнетронного распыления из алюминиевой мишени в атмосфере аргона напылялся слой алюминия, что привело к формированию двух слоев ZnO: высокоомного «оконного» слоя *i*-ZnO и низкоомного лицевого контактного слоя *n*-ZnO:Al.

Морфология и толщина полученных структур исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием электронного микроскопа JEOL 6400.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) гетероструктур ZnO/CdS/SnS исследовались при комнатной температуре в темновых и световых условиях. Структуры освещались белым светом с плотностью излучения $30 \text{ мВт} / \text{см}^2$. В качестве источника излучения использовалась галогенная лампа с цветовой температурой нити накаливания $T_{\text{col}} = 2850 \text{ К}$.

Фотоэлектрические параметры гетероструктур ZnO/CdS/SnS были рассчитаны по данным ВАХ с помощью стандартных процедур. Лучшие результаты получены для структур на основе пленок SnS, осажденных при температуре подложки $T_s = 350 \text{ }^\circ\text{C}$. Параметры этих структур представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фотоэлектрические характеристики структур ZnO/CdS/SnS

| | |
|---------------------------------------|--|
| Активная поверхность, S | $0,2 \text{ см}^2$ |
| Фактор идеальности диода, n | 4 |
| Последовательное сопротивление, R_s | 40 Ом |
| Шунтирующее сопротивление, R_{sh} | 350 Ом |
| Ток насыщения, I_0 | $0,2 \text{ мА} \left(1,00 \text{ мА} / \text{см}^2 \right)$ |
| Фототок, I_{ph} | $0,73 \text{ мА} \left(3,68 \text{ мА} / \text{см}^2 \right)$ |
| Ток короткого замыкания, I_{SC} | $0,72 \text{ мА} \left(3,63 \text{ мА} / \text{см}^2 \right)$ |
| Напряжение холостого хода, V_{oc} | 132 мВ |
| Фактор заполнения, FF | 0.29 |
| Максимальная мощность, P_{max} | $0,135 \text{ мВт} / \text{см}^2$ |
| КПД | 0.5 % |

Результаты показывают высокие значения фактора идеальности n и низкие значения шунтирующего сопротивления R_{sh} , что свидетельствует о значительных рекомбинационных потерях в гетероструктурах. Тем не менее, результаты показали заметное улучшение фотоэлектрических характеристик структур ZnO/CdS/SnS на основе пленок, полученных методом «горячей стенки», по сравнению с аналогичными структурами на основе пленок, полученных стандартным вакуумным методом [6].

Список литературы

1. Ramakrishna, K.T. Photovoltaic properties of SnS based solar cells / K.T. Ramakrishna Reddy, N. Koteswara Reddy, R.W. Miles // Sol. Energy. Mater. Sol. Cells. – 2006. – Vol. 90. – P. 3041–3046.
2. Башкиров, С.А. Физические свойства тонких пленок SnS, полученных методом «горячей стенки» / С.А. Башкиров, В.Ф. Гременок, В.А. Иванов // ФТП, 45 (2011) 765-769.
3. Башкиров, С.А. Микроструктура тонких плёнок сульфида олова, полученных методом «горячей стенки» / С.А. Башкиров, А.И. Туровец // ФКС XVIII: материалы респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 21 – 23 апр. 2010. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 94-95.
4. Башкиров, С.А. Получение и исследование тонкопленочных барьеров Шоттки In/p-SnS / С.А. Башкиров // ФКС XIX: материалы респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 19 – 20 апр. 2011. – Гродно: ГрГУ, 2011. – С. 111-112.
5. Lopez-Otero, A. Hot wall epitaxy / A. Lopez-Otero // Thin Solid Films. – 1978. - Vol. 49. – P. 3-57.
6. Ghosh, B. Fabrication of vacuum-evaporated SnS/CdS heterojunction for PV applications / B. Ghosh, M. Das, P. Banerjee, S. Das. // Sol. Energy. Mater. Sol. Cells. – 2008. – Vol. 92. – P. 1099.

SnS thin films were prepared by the hot wall deposition method. Basing on the obtained films, ZnO/CdS/SnS photosensitive structures were created. Photoelectrical properties of the obtained structures were investigated.

Башкиров Семён Александрович, аспирант Государственного научно-производственного объединения «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь, sp-box@yandex.ru.

Научный руководитель – *Гременок Валерий Феликсович*, главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, доцент, Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь.

УДК 669.18.017:53

*Д.А. Бессонов, С.В. Коновалов, С.В. Воробьев, Я.В. Белоусова,
И.А. Комиссарова, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов*

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 20Х13, ОБРАБОТАННОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В РЕЖИМЕ ИНТЕНСИВНОГО ПЛАВЛЕНИЯ *

Проведены исследования методами дифракционной электронной микроскопии. Установлено, что основной причиной повышения усталостной долговечности стали 20Х13 является растворение при электронно-пучковой обработке присутствующих в приповерхностном слое глобулярных частиц карбидов типа $M_{23}C_6$.

Одним из методов, обеспечивающих улучшение качественных показателей стали 20Х13 является обработка электронным пучком в режиме интенсивного плавления. В зоне термического влияния (слой, расположенный на глубине ~ 20 мкм) формируется структура, характерная для стали, подвергнутой высокоскоростному термическому отпуску. В объеме субзерен и пластин выявляется дислокационная субструктура сетчатого типа, скалярная плотность дислокаций $\sim 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. В отдельных случаях наблюдается структура, формирующаяся в результате скоростного контактного плавления объемов стали, содержащих субмикронные частицы карбида типа $M_{23}C_6$.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт №02.740.11.0538).

Образцы стали 20Х13, в результате усталостных испытаний разрушались после $\sim 3 \cdot 10^5$ циклов нагружения. Анализ поверхности разрушения, выполненный методами сканирующей электронной микроскопии, выявил многоступенчатый рельеф, который может быть условно разделен на поверхностный слой толщиной 5...10 мкм и нижележащий переходный слой толщиной 10...15 мкм.

Следует отметить разрушение структуры ячеек кристаллизации, что является следствием термдеформационного воздействия, имеющего место при усталостном испытании стали. Разрушение структуры ячеек кристаллизации сопровождается формированием разнообразной дислокационной субструктуры (ДСС). В объеме зерен выявлено присутствие следующих типов ДСС: сетки; ячейки, расположенные преимущественно вблизи границ и стыков границ зерен, в объеме ячеек наблюдается структура дислокационного хаоса; полосовая дислокационная субструктура, в объеме полос наблюдается структура дислокационного хаоса и сетчатая дислокационная субструктура. В полосовой субструктуре обнаруживаются оборванные субграницы, являющиеся источниками внутренних полей напряжений, приводящих к изгибу-кручению кристаллической решетки стали, что сопровождается формированием изгибных экстинкционных контуров. Полосовая субструктура часто оказывается фрагментированной.

Преимущественным типом субструктуры слоя, расположенного на глубине ~ 20 мкм (слой термического влияния), формирующейся в результате усталостных испытаний, являются субзеренная. Размеры субзерен изменяются в пределах от 200 до 400 нм. В незначительном количестве выявляется полосовая субструктура. В объеме субзерен и полосовой субструктуры присутствует дислокационная субструктура в виде хаотически распределенных дислокаций (скалярная плотность дислокаций $\sim 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$) и формирующих дислокационные сетки (скалярная плотность дислокаций $\sim 5,2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$).

В отдельных случаях и только в субзернах выявляется ячеистая дислокационная субструктура. Полосовая субструктура и субзерна фрагментированы. В полосовой субструктуре границы фрагментов преимущественно располагаются поперек полосы, т.е. ширина фрагмента совпадает с шириной полосы. В субзернах поперечные фрагменты в 2...3 раза меньше поперечных размеров субзерна.

Особенностью структуры, формирующейся в слое, расположенном на глубине ~ 20 мкм, является большое количество изгибных

экстинкционных контуров. Анализ структуры слоя стали, расположенного на глубине ~20 мкм показал, что изгибные экстинкционные контуры присутствуют в зернах, не зависимо от типа формирующейся в них дефектной субструктуры. Поперечные размеры изгибного экстинкционного контура обратно пропорциональны амплитуде внутренних полей напряжений. Контуры минимальной толщины (~20 нм) формируются от границ, разделяющих карбидные частицы и матрицу, а также у оборванных малоугловых границ; контуры максимальной толщины (~200 нм) формируются у границ, разделяющих зерна матрицы.

Следовательно, несовместность деформации карбидных частиц и матрицы приводит к формированию внутренних полей напряжений, амплитуда которых кратно превосходит амплитуду внутренних полей напряжений от других источников. Последнее может означать, что одним из возможных мест зарождения микротрещин в исследуемых образцах являются частицы карбидной фазы, присутствующие в стали перед усталостными испытаниями и не растворенные при электронно-пучковой обработке.

Таким образом, выполнены усталостные испытания стали 20Х13, подвергнутой высокоинтенсивной электронно-пучковой обработке. Выявлено повышение усталостной долговечности стали в ~2 раза по отношению к стали, не обработанной электронным пучком. Выполнены исследования поверхности разрушения, выявлено формирование многослойной структуры, обнаружены микротрещины, расположенные в слое термического влияния.

Researches by methods of diffraction electronic microscopy are conducted. It is established that a principal cause of increase of fatigue durability of a steel 20Gr13 is dissolution at electron-beam processing present in surface layer globular particles of carbides of type $M_{23}C_6$.

Бессонов Даниил Александрович, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, dabess@ya.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovlov@physics.sibsiu.ru.

Воробьев Сергей Владимирович, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovlov@physics.sibsiu.ru.

Белоусова Яна Валерьевна, студентка, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, yanabelka92@yandex.ru.

Комиссарова Ирина Алексеевна, студентка, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, uapabelka92@yandex.ru.

Иванов Юрий Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, yufi@mail2000.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

Научные руководители – *Иванов Юрий Федорович*, доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, yufi@mail2000.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 621

А.С. Варган, А.С. Викторovich, П.К. Зданович

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОЙ ДВУХКОЛЕСНОЙ СЕКЦИИ ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ ДЛЯ МОТОЦИКЛОВ

Предложена конструкция задней секции подвески мотоцикла. Выполнен расчет элементов конструкции.

Количество автомобилей интенсивно увеличивается с каждым годом. Одной из транспортных проблем современных городов являются заторы на дорогах, в народе просто «пробки». Из-за пробок ежедневно миллионы людей теряют часы своего времени, которое можно было бы потратить на работу или отдых. Эта проблема столь актуальна и серьезна, что решать ее нужно комплексно, не пренебрегая способами, которые даже лишь частично способствуют решению этой проблемы. Одним из таких способов можно считать более широкое использование двухколесных и трехколесных транспортных средств, или, как их называют, мотоциклов и трициклов. Однако среди миллионов автолюбителей множество людей с ограниченными возможностями. До недавнего времени ощущение свободы «полета», скорость и маневренность, которые может дать только езда на мотоцикле, были

недоступны для людей с повреждениями опорно-двигательного аппарата и прикованных к инвалидному креслу. Рядом исследователей и инженеров были предприняты попытки решения проблемы, как обезопасить езду на мотоцикле для таких людей, сократить риск падения, повысить комфорт и безопасность езды. Компания Conquest решила эту проблему для инвалидов, создав на базе BMW 1170 CC новый, уникальный в своем роде, трайк с учетом всех факторов обеспечения комфорта для людей с ограниченными физическими возможностями. Байкеру не нужно покидать свое инвалидное кресло и пересаживаться на другое, а просто подняться на специальную мини-площадку для управления транспортным средством. Мотоцикл уже полностью протестирован и отвечает всем американским стандартам безопасности дорожного движения. Также подобные мотоциклы выпускает фирма «Харлей-Дэвидсон» и частные мастерские по производству мотоциклов. Основные недостатки разработанных конструкций – это чрезвычайно высокая стоимость, сложность конструкции, а также то, что эти разработки являются полноценными трехколесными транспортными средствами, изначально рассчитанными на два колеса сзади. Разработок же, позволяющих трансформировать серийный мотоцикл в трехколесное транспортное средство, практически нет.

Цель настоящей работы: разработка универсальной конструкции двухколесной секции задней подвески для серийных мотоциклов, которая позволяет превратить двухколесное транспортное средство в полноценный трицикл при минимальных трудовых и финансовых затратах.

Нами разработана съемная задняя часть мотоцикла, состоящая из двух колёс, связанных между собою дифференциалом, приводимым в движение цепью, и нового маятника с независимой подвеской. Предложена конструкция и произведен расчет «маятника», который не двигается в раме относительно её на амортизаторе, а жёстко закреплён, будучи с ней одним целым. Внутри установлен дифференциал, приводимый в движение цепью, а по бокам рычаги независимой подвески с амортизаторами, у которых предусмотрена возможность настройки качества езды. В процессе разработки потребовалось выполнение расчета дифференциала, рычагов подвески, тормозной

системы. Особое внимание при конструировании и расчете было уделено способности подвески сглаживать все оказывающие разрушительное воздействие на позвоночник водителя компрессионные удары, которые будут возникать во время езды. Предложенная конструкция дает возможность управления подвеской во время езды. Для этого предусмотрено использование амортизаторов с возможностью регулировки объема рабочей жидкости, что позволяет изменять жесткостью хода при их работе.

Идея, которую мы реализовали, выглядит следующим образом: мы снимаем с мотоцикла заводскую заднюю подвеску и «вкатываем» новую – с двумя колёсами сзади, – и закрепляем новый маятник на штатные заводские крепления. Огромный плюс данной конструкции во взаимозаменяемых деталях, что позволяет эксплуатировать транспортное средство и как мотоцикл, и как трицикл. Важным моментом является то, что мотоцикл, без каких-либо переделок заводской конструкции рамы, трансформируется в трайк. Ведь рамы современных мотоциклов – это отдельная наиболее важная деталь по сложности и качеству изготовления не уступающая двигателю. От рамы и точного центрирования на ней мотора зависит скорость мотоцикла и его манёвренность на сложных виражах. Так как мы всего лишь удлиняем мотоцикл, а рабочие элементы новой подвески переносим и размещаем по бокам, то мы предполагаем, что наша конструкция трайка может потерять по сравнению с обычным мотоциклом только скорость в прохождении поворотов и максимально возможную скорость. Это обусловлено увеличением массы транспортного средства за счет маятника, дифференциала, двух полуосей, рычагов подвески, двух автомобильных ступиц с дисковыми тормозами и двух автомобильных колёс.

К преимуществам разработанной конструкции транспортного средства можно отнести также относительную простоту монтажа, сохранение всех свойств мотоцикла, абсолютно новые возможности, недоступные для двухколесной техники.

The design of back section of a suspension bracket of a motorcycle is offered. Calculation of elements of a design is executed.

Варган Александр Сергеевич – студент 5 курса факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Викторович Александр Сергеевич – студент 5 курса факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Зданович Павел Казимирович – студент 5 курса факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Лешик Сергей Дмитриевич*, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой машиноведения и технической эксплуатации автомобилей, факультет инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, s.lesh@grsu.by.

УДК 678.029.66

А.Ю. Ващуров

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИМЕРОВ ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Исследованы процессы модификации поверхностей гибких полимерных подложек воздействием низкотемпературной плазмы в атмосфере инертных газов.

В настоящее время передовыми электронными компаниями и научно-исследовательскими институтами уделяется много внимания разработке изделий гибкой электроники (гибкие ЖК-дисплеи, электролюминесцентные, электрофоретические и OLED-дисплеи, солнечные батареи, светоизлучающие диоды, электронная бумага и т.п.). Это связано с их высокими эксплуатационными характеристиками, низкой стоимостью гибких полимерных подложек, возможностью применения «рулонной технологии» формирования функциональных слоев.

Нанесение тонких пленок на полимеры обусловлено некоторыми трудностями. Во-первых, полимеры имеют пористую структуру, которая поглощает газы и влагу из воздуха, а затем выделяет их в вакуум при осаждении пленок. Во-вторых, термическое расширение полимеров гораздо больше, чем таковое у напыляемых пленок, которые,

как правило, являются не органическими материалами. В-третьих, на полимерную подложку, для получения твердых покрытий, нельзя напылять материалы при повышенных температурах. Таким образом, осаждая покрытие на чистую поверхность полимера, можем столкнуться с плохой адгезией или мягкой поверхностью, которая легко царапается. Как правило, полимерные материалы характеризуются низкими значениями поверхностной энергии, плохо смачиваются растворителями, плохо склеиваются, имеют низкую адгезию к нанесенным тонкопленочным слоям. Для улучшения смачивания и адгезии применяются различные методы модификации поверхности полимеров.

Одним из наиболее перспективных и современных методов модификации поверхности полимеров является воздействие низкотемпературной плазмы, которое позволяет изменить свойства поверхностей этих материалов в широких пределах и значительно расширить области их использования. Обработка плазмой поверхности полимера позволяет изменять, в основном, его контактные свойства (смачивание, адгезию к тонким пленкам, способность к склеиванию, адгезию используемых при печати красителей и т.п.). Воздействие разряда в атмосфере инертных газов приводит к образованию активных свободных радикалов, которые на воздухе превращаются в гидроперекисные и перекисные, а затем – в стабильные кислородсодержащие полярные группы [1].

Для экспериментов использовались гибкие полимерные подложки из полиметилметакрилата, полиимида, полипропилена, фторопласта-4 и пластика Melinex. Обработку поверхности осуществляли ионами инертных газов при вращающемся подложкодержателе. В качестве источника ионов использовался торцевой холловский ускоритель (ТХУ), смонтированный в подколпачном объеме вакуумной установки ВУ-1А, а также ускоритель с анодным слоем (УАС), расположенный в установке Z-400. В качестве рабочих газов использовались аргон, гелий и их смеси. Для определения смачиваемости использовалась дистиллированная вода. Форма капли фиксировалась цифровым фотоаппаратом, изображение впоследствии обрабатывалось на компьютере.

Ускоряющее напряжение в УАС составляло 1-2 кВ, плотность тока ионного пучка – $3,3 \cdot 10^2 - 8,0 \cdot 10^2$ мА/см², время обработки – 10 мин. Установлено, что угол смачивания уменьшался незначительно, причем большее влияние оказывала плотность потока ионов, а не энергия

последних. Режимы обработки при использовании ТХУ были следующими: анодное напряжение – 75 В, ток разряда 1-2 А, время – 5 мин. Так же были проведены исследования модификации поверхностей полимеров с использованием 50%Ag+50%He смеси в качестве рабочего газа. Результаты измерений угла смачивания приведены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1 – Модификация поверхности гибких полимерных подложек с использованием инертных газов (УАС)

| Θ, град. Полимер | Без обра- ботки | Ag U =1 кВ I=50 мкА | Ag U=2 кВ I=50 мкА | Ag U=2 кВ I=50 мкА | Ag U=1,5 кВ I=100 мкА |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Полиметил- метакрилат | 70 | 75 | 75 | 72 | 67 |
| Полипропи- лен | 67 | 80 | 78 | 74 | 70 |
| Melinex | 65 | 80 | 78 | 70 | 70 |
| Полиимид | 62 | 80 | 79 | 72 | 68 |
| Фторопласт- 4 | 77 | 70 | 73 | 72 | 70 |

Таблица 2 – Модификация поверхности гибких полимерных подложек с использованием инертных газов (ТХУ)

| Θ, град. Полимер | Без обработки | Ag U=75 В I=1 А | Ag U=75 В I=2 А | 50%Ag+50%He U=75 В I=1 А |
|--------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Полиметил- метакрилат | 70 | 60 | 42 | 25 |
| Полипропилен | 67 | 55 | 50 | 59 |
| Melinex | 65 | 50 | 42 | 38 |
| Полиимид | 62 | 40 | 28 | 23 |
| Фторопласт-4 | 77 | 57 | 56 | 59 |

Проанализировав данные таблиц, можно сделать вывод о том, что модификация поверхностей гибких полимеров ионами аргона с использованием ТХУ является более эффективной, чем при использовании УАС. Еще большего эффекта можно достигнуть при использовании смеси 50 % Ag + 50 % He.

На рисунках 1 и 2 приведены спектры поглощения пластика Melinex до и после модификации ионами аргона.

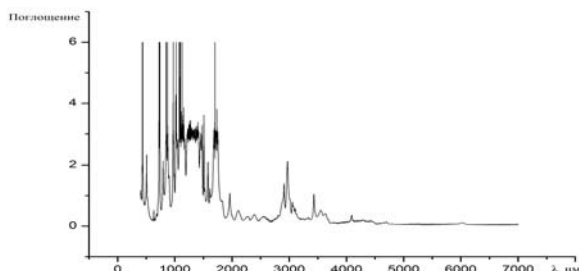


Рисунок 1 – Спектр поглощения пленки Melinex до модификации

Для получения спектров поглощения использовались образцы, поверхности которых были модифицированы на установке с ТХУ. Режим обработки был следующим: анодное напряжение – 75 В, ток разряда 1-2 А, время – 5 мин. В качестве рабочего газа использовался аргон.

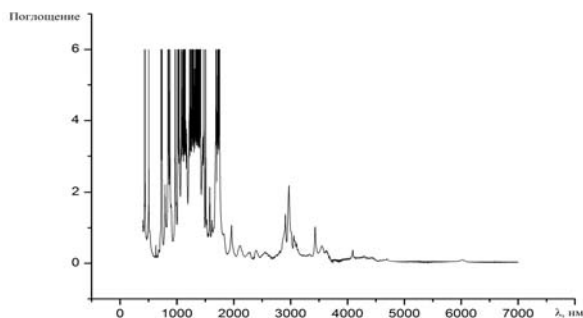


Рисунок 2 – Спектр поглощения пленки Melinex после модификации ионами аргона

Спектры поглощения измерялись с помощью ИК Фурье спектрометра FTIR Vertex 70. Анализ спектров показывает, что обработка ионами аргона приводит к значительному изменению свойств поверхности.

Список литературы

1. Vlachopoulou, M.E. A low temperature surface modification assisted method for bonding plastic substrates. / M.E. Vlachopoulou, A. Tserepi // Journal of Micromechanics and Microengineering, 19 (2009) 015007. – P. 3-9.

The flexible polymeric substrate surfaces modification process by low-temperature plasma action in noble gas atmosphere was researched in this work.

Вашиуров Александр Юрьевич, магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, nehcrome@mail.ru.

Научный руководитель – *Телеш Евгений Владимирович*, старший преподаватель, кафедра электронной техники и технологии, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, etelesh@mail.ru.

УДК 537.5

С.П. Воронович

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В НАНОТРУБКЕ

В данной работе были изучены дисперсионные уравнения неустойчивости электронного пучка в нанотрубке. Были рассчитаны зависимости пороговой плотности тока от длины нанотрубки и инкремента неустойчивости от длины нанотрубки при различных плотностях тока электронных пучков.

Создание компактных и надежных источников терагерцового (ТГц) излучения является одной из важных задач современной прикладной физики. Этот большой интерес в терагерцовом диапазоне частот обусловлен тем, что ТГц частоты характеризуют множество важных физических процессов: вращение малых молекул, коллективные моды колебаний белков, поглощение в полярных жидкостях, характерная величина энергетических щелей сверхпроводников, колебания плазмы и т.д. Надежные ТГц устройства необходимы для мониторинга загрязнения воздуха, обнаружения отравляющих газов, ДНК-манипуляций, генной диагностики и других приложений. Несмотря на

тот факт, что ТГц технологии находятся на стыке традиционных микроволновой и оптической лазерной технологий, они достаточно слабо развиты по сравнению с последними. Существует лишь небольшое количество коммерчески доступных приборов в ТГц области частот, и очень часто им не хватает точности, необходимой для выполнения прецизионных измерений. Нет также миниатюрных и недорогих источников ТГц излучения. Одной из последних тенденций является использование однослойных и многослойных углеродных нанотрубок (УНТ) [1] – цилиндрических макромолекул нанометрового диаметра и микрометровой длины – в качестве строительных блоков новых устройств ТГц частот. Сочетание трех основных свойств УНТ:

(I) баллистическая электронная проводимость,

(II) чрезвычайно высокая плотность тока,

(III) сильное замедление поверхностных электромагнитных волн [2], делает их подходящими кандидатами для разработки наноразмерных излучателей черенковского типа: ламп бегущей и обратной волны, лазеров на свободных электронах.

В данной статье проводится моделирование неустойчивости электронного пучка в УНТ, приводящей к генерации излучения.

Вообще говоря, движение электронов в УНТ описывается квантово-механическими уравнениями. В данной работе рассматривается классический режим для электромагнитного поля на стадии, когда созданные поля удовлетворяют условию большого количества фотонов на один уровень:

$$E \gg \sqrt{\hbar c} \left(\frac{\omega}{c} \right)^2. \quad (1)$$

В этом случае электромагнитная волна имеет классический характер и описывается классическим волновым уравнением:

$$\nabla \nabla \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) - \Delta \mathbf{E}(\mathbf{r}, \omega) = \frac{4\pi i \omega}{c^2} \mathbf{j}(\mathbf{r}, \omega) \quad (2)$$

Расписывая плотность тока через электронные волновые функции и оператор импульса, применяя теорему Блоха и используя преобразование Фурье, получаем:

$$\begin{aligned} \delta j_n(k, r_\perp, \omega) = & -\frac{e^2}{4m_e^2 c} \sum_{l\tau} B_{nl}(k, r_\perp, \omega) \times \\ & \times \left\{ -\frac{b_{l\tau'}^* b_{n\tau} [u_{l\tau'}^*(\hat{p}_n + \tau) + (\hat{p}_n + \tau) u_{l\tau'}^*] u_{n\tau}}{\hbar\omega + \varepsilon_l(p_n - k) - \varepsilon_n(p_n)} + \right. \\ & \left. + \frac{b_{n\tau}^* b_{l\tau'} [u_{n\tau}^*(\hat{p}_n + \tau) + (\hat{p}_n + \tau) u_{n\tau}^*] u_{l\tau'}}{\hbar\omega + \varepsilon_n(p_n) - \varepsilon_l(p_n + k)} \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь оператор квазиимпульса задается как $\hat{p}_n = \{\hat{p}_\perp, p_n\}$, где продольные компоненты квазиимпульса p_n являются числами, а поперечная компонента \hat{p}_\perp – оператор. Для удобства введена векторная форма для постоянной решетки: $\tau = \tau e_z$, где e_z – единичный вектор вдоль оси нанотрубки. Постоянные коэффициенты $b_{l\tau}$ и функции $u_{l\tau}$ входят в выражения, описывающие блоховские функции электронов в нанотрубке, ε_l – собственные значения энергии, коэффициенты B_{nl} выражаются через потенциалы электромагнитного поля, рассчитанного в [2].

Подстановка (3) в (2) приводит к окончательному виду самосогласованных уравнений поля.

Из полученных самосогласованных уравнений поля было выведено следующее дисперсионное соотношение:

$$\begin{aligned} k - k_m = & -\frac{\omega_L^2}{8k_m m_e c^2} \sum_l |B_{nl}^{(m)}|^2 \times \\ & \times \left[\frac{1}{-\hbar\omega + \varepsilon_n(p_n) - \varepsilon_l(p_n - k)} + \frac{1}{\hbar\omega + \varepsilon_n(p_n) - \varepsilon_l(p_n + k)} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $\omega_L = 2\sqrt{\frac{\pi e^2 n_e}{m_e}}$ – ленгмюровская частота электронного пучка.

В классическом комптоновском режиме генерации, когда ширина линии излучения превосходит величину квантовой отдачи, инкремент неустойчивости имеет следующий вид:

$$|\Delta k''| = \frac{\sqrt{3}}{2} \left| b_{nn}^{(m)} \frac{\partial^2 \varepsilon_n}{\partial p_n^2} \frac{k^2}{v_n^2} \right|^{1/3}. \quad (5)$$

В противоположном случае, когда влияние квантовой отдачи велико:

$$|\Delta k''| = \left| \frac{b_{nn}^{(m)}}{\hbar v_n} \right|^{1/2}. \quad (6)$$

В результате решения дисперсионного уравнения (4) с применением граничных условий для нанотрубки конечной длины были получены зависимость пороговой плотности тока от длины нанотрубки, а также зависимость инкремента неустойчивости от длины нанотрубки при различных плотностях электронного тока.

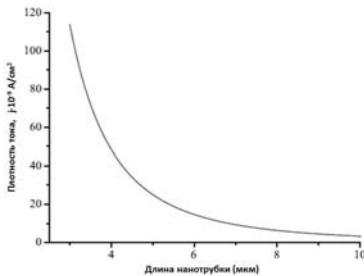


Рисунок 1 – Зависимость пороговой плотности тока от длины нанотрубки

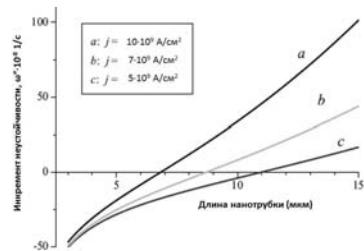


Рисунок 2 – Зависимость инкремента неустойчивости от длины нанотрубки при различных плотностях электронного тока

Список литературы

1. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П.Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
2. G. Ya. Slepyan, S. A. Maksimenko, A. Lakhtakia, O. Yevtushenko, V. Gusakov, Phys. Rev. B 60, 17136 (1999).

Dispersion equation for electron beam instability in carbon nanotube was analyzed. Dependence of the threshold current density on the length of the nanotube and the dependence of the instability increment on the length of nanotubes with different electron current densities were obtained.

Воронович София Петровна, студентка 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, Sofa2008@tut.by.

Научный руководитель – *Батраков Константин Германович*, кандидат физико-математических наук, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, kgbatratkov@mail.ru.

УДК 678.046.36

Ю.Ю. Гидревич

ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ СЛОИСТЫХ СИЛИКАТОВ

В работе рассмотрено влияние механоактивации и активации в коронном разряде на зарядовое состояние глин, так как этот фактор оказывает существенное влияние на адгезионные, триботехнические и физико-механические характеристики КМ. Анализ проведен методом ТСД.

Полимерные материалы в настоящее время получили широкое распространение во всех сферах жизнедеятельности человека. Для придания определенных служебных характеристик данным материалам в них вводят функциональные наполнители в виде дисперсных частиц (чешуйки, пластинки, шарики, частицы без определенной формы) или волокон.

Дисперсные наполнители органической и неорганической природы широко распространены, они позволяют изменять физико-химические и прочностные свойства композита, а также снизить стоимость конечного продукта. Наиболее часто используемыми порошкообразными наполнителями являются промышленные минералы, такие как тальк, слюда, каолин, полевоы шпат и др. Это связано с доступностью данных минералов и их невысокой стоимостью, а также с тем, что размеры чешуек слоистых силикатных минералов находятся в нанометровом диапазоне.

Свойства наноразмерных частиц могут существенно отличаться от свойств макрообразца, это обстоятельство вызвало широкое распространение и развитие нанотехнологий. Например, при диспергировании силикатных минералов, являющихся инертными наполнителями, при достижении частицей определенного размера она

приобретает активность во взаимодействии с полимерной матрицей. Кристаллографическая структура слоистых минералов предполагает наличие нескомпенсированного заряда у частиц, что оказывает влияние на процессы структурного упорядочения полимерных макромолекул в граничных слоях [1].

Частицы слоистых силикатов приобретают заряд при диспергировании, так как в межслоевых промежутках у них находятся ионы металлов, которые при расщеплении кристаллов распределяются по двум свежееобразованным поверхностям. Статический характер распределения ионов допускает флуктуации ионов металла на ювенильной поверхности, что может привести к образованию электрической мозаики на поверхности раскола [4].

Таким образом, слоистые силикаты обладают нескомпенсированным зарядом и представляют собой электреты. Заряженное состояние наночастиц и определяет их модифицирующее действие [4].

В связи высокой активностью наночастиц их действие распространяется на область вокруг частицы и при малом процентном содержании наполнителя можно достичь распространения действия поля заряда на все связующее. Это позволяет вводить допинговое количество наносиликатов для достижения повышенных адгезионных, триботехнических и физико-механических характеристик композиционного материала. Наряду с этим малое содержание наполнителя улучшает реологические характеристики композиционного материала и позволяет уменьшить износ оборудования [2, 5].

В связи с описанным выше, было исследовано зарядовое состояние дисперсных частиц черной глины, не подвергнутых предварительной обработке, и частиц, выдержанных в поле коронного разряда с одновременной механической активацией. В процессе механоактивации происходит процесс разрушения частиц, и дисперсный состав наполнителя изменяется.

Для неактивированного образца черной глины были сделаны снимки АСМ. Образцы получены окунанием стеклянной пластины в водную суспензию. Область сканирования 20×20 мкм. Из рисунка 1 видно, что частицы глины не имеют строгой формы и распределены по образцу неравномерно.

20.1 x 20.2 μm
A = 176.0 nm
Ra = 2.0 Rq = 3.0

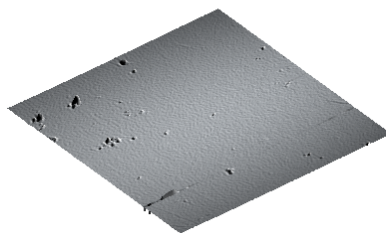


Рисунок 1 – Снимок АСМ черной глины, не подвергнутой обработке

После обработки дисперсность частиц значительно увеличивается, чем больше время обработки, тем более равномерно частицы распределяются по поверхности образцов, что видно из данных оптической микроскопии (рисунки 2-4).

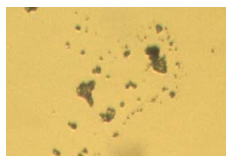


Рисунок 2 – Внешний вид частиц черной глины, не подвергнутой активации, осажденных из водной суспензии. Увеличение – 150

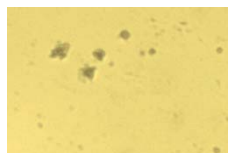


Рисунок 3 – Внешний вид частиц черной глины, активированной в течение 1 мин, осажденных из водной суспензии. Увеличение – 300



Рисунок 4 – Внешний вид частиц черной глины, активированной в течение 3 мин, осажденных из водной суспензии. Увеличение – 300

Зарядовое состояние наполнителя изучали методом термостимулированной деполяризации. Суть метода заключается в

изучении релаксации заряда электрета. Так как при комнатной температуре процесс релаксации происходит очень медленно, то применяют термическую стимуляцию разряда электрета при постоянной скорости нагрева.

Образец помещают между двумя электродами, нагревают с линейной скоростью и фиксируют величину протекающего в цепи тока. Вид кривой зависимости тока от температуры индивидуален для каждого диэлектрика. По спектру термостимулированных токов судят о механизмах, ответственных за проявление электретного эффекта.

Анализируя полученные спектры ТСТ, нужно отметить, что спектр глины, не подвергнутой обработке, в области температур 50 – 55 °С имеет пик токов релаксации отрицательного заряда, значение силы тока при этом достигает 36 пА. Данный пик свидетельствует о наличии ловушек в кристаллической структуре, способных к захвату носителей зарядов при низких температурах. В области температур выше 110 °С образец практически электронеутрален.

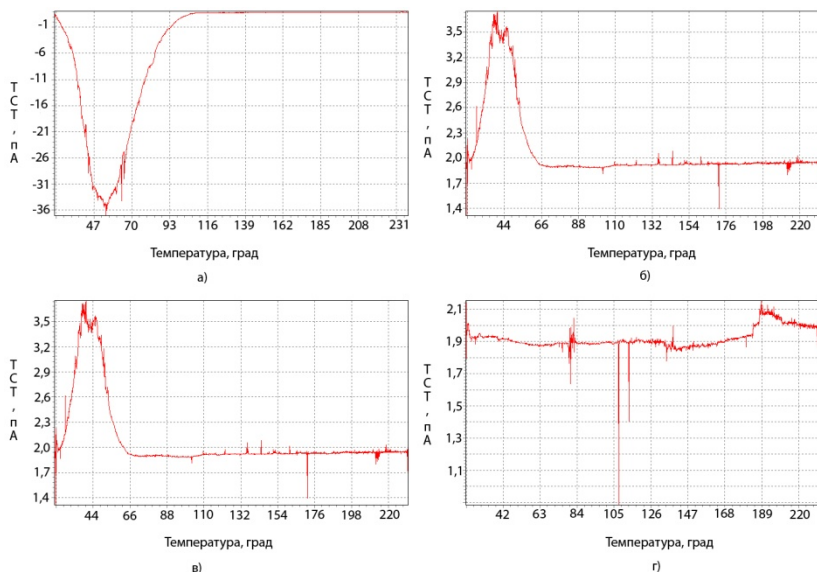


Рисунок 5 – Спектры ТСТ черной глины: а) без обработки; б) после 1 мин активации; в) после 3 мин активации; г) после 5 мин активации

С увеличением времени обработки интенсивность пика в области 50 °С снижается. Неожиданным является возникновение на спектре ТСТ активированной глины тока 2 пА, подобного току проводимости.

Если это связано с высвобождением ионов металла из межслоевых промежутков глины при диспергировании, то при направленном перемещении ионов должен осуществляться не только перенос электрического заряда, но и перенос вещества. Под действием внешнего электрического поля анионы движутся к аноду, а катионы к катоду. Постепенно концентрация носителей заряда уменьшается, поэтому величина ионного тока со временем должна спадать, чего в данном случае не наблюдается.

Обработка образца в коронном разряде сопровождается переносом заряда из области электрического разряда в воздушном зазоре на поверхность частиц. При этом ионы могут проникать в приповерхностную область, где фиксируются ионными ловушками. Возможно, после обработки нарушилась электронейтральность образца.

Каждая из гипотез требует своего подтверждения, а вопрос – дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Авдейчик, С.В. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов: монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.
2. Охлопкова А.А., Попов С.Н., Слепцова С.А., Петрова П.Н., Аввакумов Е.Г. // Журнал структурной химии. – 2004. – Том 45. – С. 172 – 177.
3. Ключев В.А., Лознецова Н.Н., Малкин А.И., Топоров Ю.П. // Письма в ЖТФ. – 2010. – Том 36, вып. 16. – С. 6 – 9.
4. Авдейчик, С.В. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с.
5. Патент № 2276677 России от 2006 г. Композиционный термopластичный материал / Струк В.А., Кравченко В.И., Костюкович Г.А., Авдейчик С.В., Ратобильский С.В., Мануленко А.Ф., Смурага О.И.

In this paper we consider the influence of mechanical activation on the charge state of the clay, since this factor has a significant effect on adhesion, tribological and physico-mechanical properties of composite materials. The analysis carried out by TSD.

Гидревич Юлия Юрьевна, студентка Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, yuliarozhko@mail.ru.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор, декан факультета инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.78:621.81

Е.Т. Горячёва

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ДЕТАЛЯХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТРЕНИЯ

Проблема повышения качества, надежности и долговечности машин является одной из основных задач современного машиностроения и имеет не только научно-техническое, но и важное экономическое значение.

В настоящее время на предприятиях машиностроения, особенно с крупносерийным производством, заинтересованы в долговечности и точности применяемого оборудования и технологической оснастки.

Так в крупносерийном производстве не всегда есть возможность внепланово остановить используемое оборудование (в том числе и технологическую оснастку) для его очистки и смазки. В связи с этим существует необходимость применения полимерных композиционных покрытий, с целью уменьшения коэффициента трения, биения и увеличения износостойкости.

Наиболее перспективными являются следующие виды полимерных композиционных покрытий на основе:

- 1) полиамида;
- 2) ПТФЭ;
- 3) минеральных материалов (керамики).

Актуальным вопросом машиностроения всегда остается проблема повышения долговечности тяжело нагруженных узлов трения, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Одним из путей увеличения их срока службы стало применение антифрикционных пластмасс. В настоящее время накоплен достаточно большой опыт использования полимерных материалов в различных отраслях машиностроения, что связано с рядом их достоинств: высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения, сокращением расходов на эксплуатацию и ремонт механизмов и т.п.

Из многообразия полимерных материалов, по наиболее удачному сочетанию свойств для узлов трения, можно выделить полиамиды. Они применяются, как при создании монолитных деталей, так и в качестве тонкослойных антифрикционных покрытий, прочно соединенных с металлической подложкой. По износостойкости, при корректном использовании, полиамиды превосходят не только другие полимеры, но и многие антифрикционные металлы и сплавы. Другим их достоинством является высокая технологичность, обусловленная сравнительно низкой температурой плавления и хорошей текучестью расплавов.

Тонкое полиамидное покрытие может воспринимать нагрузки, создающие напряжения, которые значительно превышают предел прочности полиамида в монолите. Это объясняется тем, что покрытие, прочно удерживаемое на металлической поверхности силами адгезии, имеет ограниченную возможность к деформированию. Благодаря малой толщине полимерного слоя (менее 0,35 мм) увеличивается его теплопроводность, что существенно уменьшает тепловую напряженность узла трения [1].

Использование полимеров в узлах трения в виде тонкослойных покрытий позволяет без больших экономических затрат применять особо высококачественные композиты, в том числе включающие наноструктурные материалы, например, фуллерены.

Но все это становится возможным только при обеспечении надежного соединения покрытия с металлической подложкой. Практический опыт показывает, что именно нестабильность адгезии антифрикционного слоя к подложке ограничивает их широкое применение, так как в результате воздействия неблагоприятных факторов в процессе эксплуатации происходит постепенное снижение прочности адгезии. Следовательно, первоочередной задачей является повышение стабильности адгезии полимерных покрытий.

Материалом нового поколения на базе политетрафторэтилена (ПТФЭ) можно назвать противоизносную антифрикционную добавку к смазочным материалам – «ФОРУМ». Так назван Фтор Органический Ультрадисперсный Материал, полученный по специальной технологии в Институте химии Дальневосточного отделения РАН крупностью частиц около 1 микрона [2].

Пленка, созданная ПТФЭ, устраняет дефекты поверхности, повышает точность сопряжения деталей и приводит к резкому уменьшению коэффициента трения. При этом пленка выдерживает

температуру в зоне трения до 415 °С. Следует заметить, что в узлах трения локально возникают очень высокие температуры в точках соприкосновения металла по металлу. Именно в этих точках происходит местное окисление и деструкция масла, а также коррозия металла. Продукты триботехнического разложения требуют периодической замены масла. В узлах трения, обработанных Форумом, такой процесс практически сводится на нет. Фторполимерная наноплёнка защищает узлы трения от износа, коррозии и снижает коэффициент трения и температуру в узлах трения [2].

Далее рассмотрим нанокompозитные износостойкие минеральные покрытия, состоящие из минеральных материалов природного происхождения, подвергнутых специальной обработке и обладающих высокой термодинамической устойчивостью. Целью работы по нанесению данных покрытий является обеспечение заданных свойств покрытия, минимизирование адгезии между двумя трущимися поверхностями с целью снижения коэффициента трения и исключения массопереноса (налипания) одной поверхности на другую при рабочих давлениях.

Сущность выполняемой работы состоит в использовании природных минералов и формировании при помощи специальной установки покрытий в виде нанослоев с заданными свойствами (антифрикционных, износостойких, противозадирных) на деталях пар трения.

Принцип формирования комбинированных минеральных покрытий состоит во внедрении нанокompозитных минеральных материалов в кристаллическую решетку металлов.

При совокупности использования нанопорошков до 100 нанометров и воздействия ультразвукового инструмента формируется нанокompозитная структура поверхности, имеющая упорядоченные по составу и размерности, от 20 до 40 нанометров, свойства, достигается необходимое изменение механических характеристик материала нанокompозитного покрытия и основного материала детали. Формируется комбинированное минеральное покрытие с заданными триботехническими свойствами и значительным повышением коррозионной стойкости [3].

Преимущества минеральных покрытий перед существующими аналогами заключаются в использовании экологически чистой технологии по сравнению с химико-термической (азотирование, хромонитридизация) и гальванической технологией, т. к. при

использовании покрытий с минералами природного происхождения исключаются профзаболевания, характерные для гальванического производства (органов дыхания, кожных заболеваний и т. д.) [3].

Из вышесказанного следует, что разработка и внедрение в промышленность полимерных композиционных покрытий на деталях трения является не только технологическим и экономическим аспектом, но и важным экологическим. Экологическая сторона вопроса состоит в том, что большинство предприятий машиностроения относятся к «грязным» производствам. Это отчасти вызвано большим количеством отходов СОТС. Снизить долю смазочных материалов позволит применение антифрикционных, износостойких, коррозионностойких полимерных покрытий.

Список литературы

1. Зборщик, А.М. Конспект лекций по дисциплине «Новые материалы в металлургии» / А.М. Зборщик. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2008. – 253 с.
2. Логинов, Б.А. Удивительный мир фторполимеров / Б.А. Логинов. – М., 2007. – 128 с.
3. Нанокompозитные износостойкие минеральные покрытия // Российская национальная нанотехнологическая сеть [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru/products/44948/>. – Дата доступа: 07.02.2012.

The problem of improving the quality, reliability and durability of machines is one of the major challenges of modern machinery and has not only scientific, technical, and economic importance.

Горячёва Евгения Тимофеевна, студентка Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, frezaz@yandex.ru.

Научный руководитель – *Скаскевич Александр Александрович*, кандидат технических наук, зам. декана факультета инновационных технологий машиностроения, Гродно, Беларусь.

УДК 616.71

Г.Э. Дулевич

МЕХАНИЗМ ПИТАНИЯ ПУЛЬПОЗНОГО ЯДРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

На основе данных рентгенофункционального исследования, характеризующих амплитуду угловых движений позвонков, а также площадей,

занимаемых межпозвонковым диском во время движения, проведены расчеты массообменных процессов внутри пульпозного ядра. Показано, что массообменные процессы между пульпозным ядром и телом позвонка, осуществляющие питание диска, происходят как во время сгибания, так и во время разгибания позвоночника.

Можно считать, что при относительном движении нижний позвонок остается в исходном состоянии, а верхний поворачивается относительно него на угол α , который определяется из планиметрических измерений для позвоночника в норме. Поскольку длины продольных связок, прилегающих к телу позвонка должны оставаться неизменными вследствие очень высокого коэффициента их упругости [1], то изменение площади диска будет обусловлено только изменением массы межпозвонкового диска (пульпозного ядра). Площадь диска ограничена телами позвонков и длинами продольных связок, которые аппроксимируются полиномами вида

$$f_i(z) = \sum_n a_{in} z^n \quad (1)$$

с ограничением длины связок:

$$\int_A^C \sqrt{1 + f_1'(z)} dz = 1 \quad \int_B^D \sqrt{1 + f_2'(z)} dz = L. \quad (2)$$

Расчеты, проделанные при данных предположениях, показывают, что наиболее существенным является изменение площадей межпозвонкового диска при наклоне вперед. Для сопоставления с экспериментальными данными после расчетов объема, занимаемого межпозвонковым диском, необходимо определить проекцию диска на фронтальную плоскость при движении в сагиттальной.

Исходя из этих предположений, при расчете движения сегмента $C_2 - C_3$ в сагиттальной плоскости с учетом уравнений (1-2) получены следующие значения изменения площадей:

$$\frac{S_{\text{сгибание}}}{S_{\text{ортостат}}} \approx 0,98 \pm 0,01 \quad \frac{S_{\text{разгибание}}}{S_{\text{ортостат}}} \approx 1,04 \pm 0,02. \quad (3)$$

Из представленных соотношений видно, что площади, ограниченные недеформированными связками, практически не изменяются.

Экспериментальные данные площади межпозвонкового диска для сегмента $C_2 - C_3$, полученные по данным рентгенофункционального анализа, дают следующие значения

$$\frac{S_{\text{сгибание}}}{S_{\text{ортостат}}} \approx 0,97 \pm 0,07 \quad \frac{S_{\text{разгибание}}}{S_{\text{ортостат}}} \approx 1,01 \pm 0,07. \quad (4)$$

Соотношения (3, 4) показывают, что для нормального питания диска сегмента $C_2 - C_3$ достаточно обмена массы не свыше 3 % от ее общего объема. Сегмент $C_2 - C_3$ анализировался исходя из того, что данный сегмент наименее подвержен дистрофическим изменениям.

В то же время наиболее подверженный дистрофическим изменениям является сегмент $C_5 - C_6$. Были проведены экспериментальные и теоретические расчеты и для этого сегмента. При этом было выяснено, что массообменные процессы в сегменте $C_5 - C_6$ намного превышают аналогичные параметры для сегмента $C_2 - C_3$.

Список литературы

1. Жарков, П.Л. Остеохондроз и другие дистрофические изменения позвоночника у взрослых и детей / П.Л. Жарков. – М.: Медицина, 1994. – 240 с.

Based on these findings of rentgenofunction study the amplitude of the angular movements of the vertebrae, as well as the area occupied by intervertebral disc during motion, the calculations of mass transfer processes are made inside the nucleus pulposus. It is shown that mass transfer processes between the nucleus pulposus and the vertebral body, carrying food drive taking place both during flexion and extension in the spine.

Дулевич Гражина Эдуардовна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Жарнов Александр Михайлович*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, a_zharnov@grsu.by.

УДК 616.71

О.А. Жарнова

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ЮНГА ДЛЯ МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

В работе рассматривается поведение позвоночно-двигательного сегмента, включающего в себя соседние позвонки и диск между ними. Анализируется коэффициент упругости межпозвонкового диска шейного отдела позвоночника при достаточно слабых внешних воздействиях. На основе экспериментальных данных движения позвоночника в сагиттальной плоскости показано, что коэффициент жесткости существенно отличается от аналогичного параметра при сильных динамических нагрузках [1].

Будем рассматривать модель в шейном отделе позвоночника, состоящую из двух позвонков с диском, локализованным между телами позвонков и продольными связками. На сегмент $C_2 - C_3$ приходится основная вертикальная нагрузка со стороны головы (сила тяжести mg). Эта сила через позвонок C_1 передается на межпозвонковый диск C_{2-3} , деформацию которого и будем анализировать. Угол отклонения позвонков от вертикали легко определить из экспериментов [2], угол отклонения межпозвонкового диска будет определяться как разность углов для смежных дисков.

Уравнение деформации межпозвонкового диска в приближении упругого стержня запишем в виде:

$$EI \left(\frac{d\vec{r}}{dl} \cdot \frac{d^3 \vec{r}}{dl^3} \right) = \left(\vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dl} \right), \quad (1)$$

где E – модуль Юнга, I – момент инерции сечения диска относительно оси, проходящей через его плоскость $I = \int x^2 dS$, \vec{F} – внешняя сила, действующая на диск (в нашем случае сила тяжести головы), \vec{r} – радиус-вектор от начала координат к произвольной точке диска, dl – изменение длины диска.

Для расчета модифицированного модуля Юнга из формулы (1) необходимо знать изменение расстояния между фиксированными точками позвонков при движении в сагиттальной плоскости. Их значения определяем из экспериментальных данных, представленных в [2]. Учтем, что на позвонок C_2 будет действовать сила тяжести головы в пренебрежении массы позвонка C_1 : $mg \approx 55 \text{ Н}$. Момент инерции сечения межпозвонкового диска в сегменте $C_2 - C_3$ равен $I \approx 350 \text{ мм}^4$. Среднее значение модуля Юнга для этого случая по формуле (1) будет равно $E \approx 25 \text{ Па}$.

Зная модуль Юнга, поперечное сечение межпозвонкового диска $C_2 - C_3$, можно рассчитать коэффициент жесткости, который будет равен:

$$k = E \frac{S}{L_0} \approx 0.9 \text{ Н/м}. \quad (2)$$

Рассчитанный коэффициент жесткости по формуле (2) весьма существенно отличается от данных [1], в которых аналогичный параметр составляет порядка 1 МН/м. Это объясняется достаточно просто. Экспериментальные значения коэффициента жесткости, приведенные в [1], определены для случая экстремальной нагрузки, когда начинают работать достаточно жесткие продольные связки с очень высоким коэффициентом жесткости. Для нашего случая коэффициент жесткости будет определяться только деформацией межпозвонкового диска, продольные связки при этом находятся в недеформированном состоянии. Деформация межпозвонкового диска происходит по несколько иным законам: жидкость в пульпозном ядре может принимать разнообразные формы, минимизируя воздействие внешних усилий.

Список литературы

1. Ступаков, Г.П. Реакция позвоночника на продольное нагружение / Г.П. Ступаков, А.А. Оксогоев // В сб. «Современные проблемы биомеханики». – 1989. – В. 6. – С. 19–46.
2. Михайлов, А.Н. Подвижность сегментов шейного отдела позвоночника при его дистрофических изменениях / А.Н. Михайлов [и др.] // Медицинские новости. – 2011. – № 4. – С. 65–68.

In work the behaviour vertebral-impellent a segment, including next vertebra and a disk between them is considered. The factor of elasticity intervertebral a disk of a cervical department of a backbone is analyzed at enough weak external influences. On the basis of experimental data of movement of a backbone in sagital to a plane it is shown, that the factor of rigidity essentially differs from similar parameter at strong dynamic loadings.

Жарнова Ольга Александровна, аспирант 1-го года обучения, преподаватель Гродненского государственного медицинского университета, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Иванов Алексей Юрьевич*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, ion_ne@mail.ru.

УДК 616.71

О.А. Жарнова

ВНУТРИДИСКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ В ЯДРЕ СЕГМЕНТА ПРИ ДВИЖЕНИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Анализируются процессы в позвонково-двигательном сегменте, включающем в себя соседние тела позвонков с диском между ними для шейного отдела позвоночника во время его движения. Рассматривается движение сегментов в сагиттальной плоскости. Рассчитаны градиенты давления, возникающие в диске при движении вперед и назад относительно вертикали.

Считается, что при повышении внутридискового давления, происходящем при наличии вертикальной нагрузки в ходе выполнения любой работы, к диску в большей степени приходят биологически активные вещества [1]. Функциональная активность межпозвонкового диска зависит от равномерности и адекватности умеренной функциональной нагрузки, которую он испытывает. В противном случае создаются биомеханические условия для его травматизации и разрушения, что формирует комплекс симптомов остеохондроза. Межпозвонковый диск в разные возрастные периоды может выдерживать различную нагрузку – от 6 кН в возрасте 6 лет до 25 кН у мужчин и 11 кН у женщин в возрасте от 20 до 30 лет. К 70 годам межпозвонковый диск способен выдержать сжатие 6,9 кН у мужчин и 4,8 кН у женщин, а растяжение – только силой в 1,1 кН [2].

Для расчета градиента давления в проекции на плоскость определим, как будет изменяться длина связки с учетом того, что давление внутри диска должно быть постоянно по всему периметру (рис. 1).

Расчет будет проводиться в предположении, что связка будет принимать такое положение, при котором вдоль связки сила натяжения постоянна. Очевидно, что при этом связка будет принимать форму, близкую к дуге окружности. Силы натяжения связок, распределенные вдоль них, будут образовывать результирующую, равную

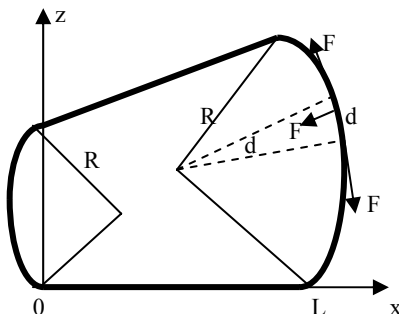


Рисунок 1 – Модель распределения сил в межпозвоновом диске при растяжении связок

$$F_p = 2F \sin \frac{d\alpha}{2} \approx F\alpha. \quad (1)$$

При этом равнодействующие сил натяжения будут создавать давление P внутри диска, определяемое из условия

$$P d l d y = P d y R_1 d \alpha = F \alpha = \frac{ES}{L} d L d \alpha, \quad (2)$$

где $R_{1,2}$ – радиус кривизны дуги, E – модуль Юнга, S – поперечное сечение связки, L – ее первоначальная длина, dL – удлинение связки при растяжении.

Из соотношений (1) – (2) можно получить, что при условии постоянства давления внутри диска выполняется соотношение

$$\frac{\Delta L}{L R_1} = \frac{\alpha_1 \Delta L}{L(L + \Delta L)} = \text{const}. \quad (3)$$

Оценки внутридискового давления с учетом соотношения (3) показывают, что оно может возрастать в 5-6 раз при максимальном сгибании по отношению к ортостатическому положению. Связки при этом могут быть деформированы на 15-25 %.

Список литературы

1. Жарков, П.Л. Остеохондроз и другие дистрофические изменения позвоночника у взрослых и детей / П.Л. Жарков. – М.: Медицина, 1994. – 240 с.
2. Образцов, И.Ф. Проблемы прочности в биомеханике / И.Ф. Образцов. – М.: Высшая школа. – 1989. – С. 192.

The processes of the vertebral-motor segment, which includes the adjacent vertebral bodies with a disk between them for the cervical spine during its movement. In this article we discuss the advance of segments in the sagittal plane. Based on these findings of rentgenofunction study the amplitude of the angular movements of the vertebrae, as well as the area occupied by intervertebral disc during motion, the calculations of mass transfer processes are made inside the nucleus pulposus.

Жарнова Ольга Александровна, аспирант 1-го года обучения, преподаватель Гродненского государственного медицинского университета, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Иванов Алексей Юрьевич*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, ion_ne@mail.ru.

УДК 621.793.18

С.Д. Жук, А.Н. Кутько, А.А. Ясюнас

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОФИЛЬ РАСПЫЛЕНИЯ МИШЕНИ В ПРОТЯЖЕННЫХ МАГНЕТРОНАХ

В работе рассмотрены основные причины возникновения и способы устранения «диагонального эффекта» в протяженных магнетронных распылительных системах.

В связи с возникшей потребностью в развитии технологии нанесения покрытий на архитектурное стекло, широкие рулонные материалы были разработаны магнетронные распылительные системы (МРС) с длиной мишени до трех метров для конвейерных установок с длительным непрерывным процессом. Важной проблемой для этих систем является получение высокой равномерности наносимых пленок по толщине и их свойствам, особенно в случае реакционного распыления [1]. Одним из направлений в развитии МРС является создание систем с заданной конфигурацией магнитного поля по величине и конфигурации. Такие МРС позволяют повысить

коэффициент использования материала и сделать процесс выработки мишени более равномерным.

Процесс ионного распыления материалов характеризуется коэффициентом распыления, определяемым как число атомов, выбиваемых из материала мишени одним ионом. Значение этого коэффициента зависит от множества факторов: энергии, массы и атомного номера бомбардирующих ионов, температуры поверхности, качества ее обработки и др. [2]. Однако в протяженных магнетронах имеется неоднородность выработки мишени, возникающая обычно на торцах длинных магнетронов. В литературе такая неоднородность называется «диагональным эффектом» или эффектом противоположащих углов, который нельзя объяснить вышеуказанными факторами.

Мишени протяженных магнетронов содержат два прямых центральных участка зоны эрозии и два ее закругления на концах мишени. Всем протяженным магнетронам свойственно изменение величины магнитного поля и его формы вблизи концов мишени (в месте поворота зоны эрозии) относительно центрального участка. Это приводит к соответствующим изменениям интенсивности плазмы, что влияет на скорость распыления. Это, в свою очередь, приводит к углублению вблизи концов зоны эрозии [3]. В результате участки вблизи торцов вырабатываются быстрее, вызывая сквозную выработку мишени в этих участках, что уменьшает время непрерывной работы распылительной системы и снижает коэффициент использования мишени. Кроме этого неравномерность распыления приводит к неравномерности формируемого покрытия, что также нежелательно.

«Диагональный эффект» заключается в интенсивной локальной эрозии, которая обычно имеет место в паре противоположащих областей на стыке поворотного и прямого участков одной стороны зоны эрозии мишени. Скорость эрозии там примерно в 1.5 раза выше, чем на прямом участке зоны эрозии мишени. Если менять полярность магнитного поля, то места интенсивной эрозии проявлялись в других противоположащих углах [3].

Как известно, подвижность дрейфующих электронов зависит от величины магнитного поля, параллельного поверхности мишени. Поэтому происходит значительное увеличение дрейфовой подвижности электронов, когда они входят в поворот с прямолинейного участка, и уменьшение ее, когда они выходят из поворота на прямолинейный участок. Когда их дрейф ускоряется при входе в поворот, то, дрейфуя по

нему, они успевают ионизировать меньше атомов на единицу длины, чем на прямом участке. Поэтому они сохраняют относительно большую кинетическую энергию. Затем на выходе из поворотного участка их дрейф замедляется. Поэтому там создается более высокая плотность электронов и соответствующая ей более интенсивная ионизация. Это создает место наиболее быстрой эрозии мишени, то есть проявления эффекта противоположащих углов[3].

Следовательно, для устранения «диагонального эффекта» необходимо обеспечить одинаковое распределение магнитных полей по всей области распыления. То есть обеспечить согласования поля линейных и торцевых участков.

Нами была проведена оптимизация магнитного поля протяженного магнетрона с длиной рабочего участка два метра. Исходная конструкция имела явно выраженный «диагональный эффект» – скорость распыления при приближении к торцу магнетрона увеличивалась почти в 2 раза по сравнению с линейным участком. Результаты измерения магнитного поля показали, что составляющая магнитной индукции параллельная плоскости мишени в зоне закругления на 18,8 % выше, чем на линейном участке. Было принято решение уменьшить эту разницу или вообще устранить ее. В программном комплексе COMSOL Multiphysics 4.2 была построена 3D модель торцевой области магнетрона и выполнено согласование полей торцевой и линейной части. Различие в магнитной индукции параллельной плоскости мишени составило 7,8%. В результате скорость распыления проблемных областей снизилась, и стала всего на 10 % больше, чем на линейном участке. Это позволило повысить коэффициент использования материала мишени на 12%, а время непрерывной работы увеличить в полтора раза.

На основе полученных результатов можно сказать, что «диагональный эффект» вызван именно несогласованностью магнитных полей на линейном и торцевом участках распылительной системы. Нивелировать влияние этого эффекта можно путем согласования распределения магнитного поля над поверхностью мишени.

Список литературы

1. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин. – М.: Радио и связь, 1982 – 72 с.
2. Кузьмичев, А.И. Магнетронные распылительные системы / А.И. Кузьмичев. – Киев: Аверс, 2008 – 245 с.

3. Берлин, Е.В. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман. – 2010 – 546 с.

The paper discusses the main causes of the cross-corner effect in a rectangular sputtering magnetron and main ways decrease of its effect.

Жук Сергей Дмитриевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, zhuk_sjarzhuk@tut.by.

Кутько Андрей Николаевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, kutek@tut.by.

Ясюнас Александр Алексеевич, аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, alex.yasunas@gmail.com.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, кафедра микро- и нанoeлектроники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, dm_a_kotov@mail.ru.

УДК 53.098

*Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, И.А. Комиссарова,
В.И. Мясникова, В.Е. Громов.*

ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ ЦИНКА *

Экспериментально изучено влияние слабых магнитных полей ($B \leq 0,3$ Тл) на микротвердость монокристаллов цинка. Показано, что микротвердость цинка при воздействии магнитным полем изменяется в зависимости от состояния дефектной субструктуры.

* Работа выполнялась при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (госконтракт 16.740.11.0314).

Одной из чувствительных характеристик к воздействию слабыми электрическими потенциалами является микротвердость. Между подвижностью дислокаций и микротвердостью существует определенная корреляция. Целью настоящего исследования являлось установление влияния слабых магнитных полей на микротвердость монокристаллов цинка.

В исследовании использовались образцы монокристаллического цинка с размерами $0,5 \times 2 \times 1 \text{ см}^3$. Часть образцов предварительно подвергалась отжигу при 380°C в течение 60 часов с последующим охлаждением в печи. В качестве источника магнитного поля использовали электромагнит, имеющий возможность регулирования индукции магнитного поля. Измерения микротвердости проводились с помощью микротвердомера HVS-1000 для трех вариантов: без воздействия магнитного поля, сразу после выдержки в магнитном поле и после определенных интервалов времени.

Воздействие магнитным полем может, как увеличивать микротвердость, так и снижать ее. Это связано с различным состоянием дефектной субструктуры у отожженного и не отожженного образцов

Анализируя рисунок 1, можно заметить, что увеличение времени выдержки в магнитном поле приводит к уменьшению относительного изменения микротвердости по закону $\delta = -0,088 + 0,092 \cdot 0,48^t$, что коррелирует с экспериментальными данными по увеличению подвижности дислокаций при увеличении времени выдержки в магнитном поле монокристаллов цинка.

Увеличение индукции магнитного поля приводит к резкому снижению относительного изменения микротвердости, которое подчиняется уравнению типа $\delta = -0,056 + (0,056) / \left(1 + 10^{((0,24-B)(-16,7))} \right)$, причем в интервале значений индукции магнитного поля $0 \text{ Тл} < B < 0,15 \text{ Тл}$ эффект влияния магнитного поля не выражен.

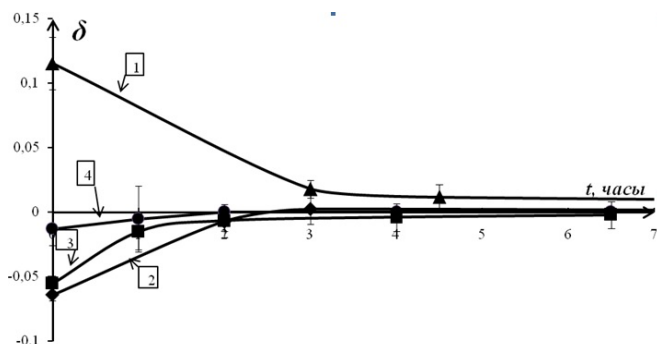


Рисунок 1 – Зависимость относительного изменения микротвердости (δ) от времени (t), прошедшего после обработки магнитным полем 0,3 Тл (1 – выдержка в магнитном поле 2 часа (не отожженные образцы); 2 – выдержка в магнитном поле 2 часа (после отжига); 3 – выдержка в магнитном поле 1 часа (после отжига); 4 – выдержка в магнитном поле 0,5 часа (после отжига))

При рассмотрении возможного физического механизма влияния магнитного поля на микротвердость материалов, учтем связь между микротвердостью и подвижностью дислокаций. Поскольку в кристалле обычно присутствует $10^6 - 10^{11}$ дислокаций в 1 см^3 , их перемещение приводит к макроскопическим деформациям. Изменяя подвижность этих дефектов, можно управлять пластической деформацией кристаллов, что подтверждается результатами работы, где установлено, что с увеличением подвижности дислокаций микротвердость кристаллов висмута снижается.

Процесс пластической деформации сопровождается непрерывным взаимодействием дислокаций друг с другом и с точечными дефектами. Если предположить, что взаимодействие дислокации с парамагнитными примесями носят не только упругий характер, а сопровождаются образованием и разрывом ковалентной связи между ними, то можно констатировать, что это является дополнительным фактором торможения дислокации. Образование ковалентной связи между одним атомом, принадлежащим дислокации и парамагнитным примесным дефектом – возможно, поскольку в окрестностях ядра дислокации, там, где электронные оболочки атомов сильно искажены, существуют электроны с не спаренным спином, локализованные на перегибах и ступеньках, а атом

парамагнитной примеси по определению имеет электрон с не спаренным спином. Таким образом, процесс пластической деформации сопровождается многократно повторяющимися химическими реакциями.

Авторами установлено, что воздействие слабым магнитным полем, в зависимости от состояния дефектной субструктуры, способно как увеличивать, так и уменьшать микротвердость монокристаллов цинка с последующей ее релаксацией до исходного значения. Увеличение индукции магнитного поля, как и времени выдержки в нем, сопровождается снижением микротвердости отожженных монокристаллов цинка. Природа влияния магнитного поля, по-видимому, связана с откреплением дислокаций от парамагнитных центров под действием магнитного поля. На это указывает корреляция между снижением микротвердости и увеличением подвижности дислокаций в условиях воздействия постоянным магнитным полем.

Influence of weak magnetic fields ($B \leq 0,3$ Tl) on microhardness of monocrystals of zinc is experimentally studied. It is shown that microhardness of zinc at influence by a magnetic field changes depending on a condition of a defective substructure.

Загуляев Дмитрий Валерьевич, старший преподаватель Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru.

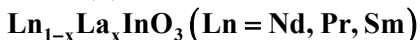
Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, kononov@physics.sibsiu.ru.

Мясникова Вероника Ивановна, студентка Сибирского государственного индустриального университета Новокузнецк, Россия, I.R.I.SS@yandex.ru.

Комиссарова Ирина Алексеевна, студентка Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, I.R.I.SS@yandex.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

**СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ИНДАТОВ
ЛАКТАНА И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Впервые керамическим методом были синтезированы твердые растворы $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ (Ln = Nd, Pr, Sm). Все образцы имели структуру орторомбически искаженного перовскита. На температурных зависимостях относительного удлинения отсутствовали аномалии, вызванные фазовыми переходами. На кривых ДСК для всех исследованных индатов отсутствовали тепловые эффекты.

Особое место среди современных перспективных материалов занимают соединения оксидов редкоземельных и других металлов со структурой перовскита, которые широко используются в электронной и химической промышленности [1–3]. В частности, твердые растворы алюминатов, скандатов, галлатов, индатов лантана и других редкоземельных элементов (Ln) со структурой перовскита (LnMO_3 , M – Al, Sc, Ga, In) являются перспективными материалами для изготовления активных элементов лазерной техники [4–6]. Индаты, содержащие редкоземельные ионы, также являются хорошими фото- и катодолуминофорами [7], которые могут быть использованы при создании светодиодов белого света. К их достоинствам, помимо возможности возбуждения излучением видимого либо ближнего УФ-диапазона, также относится стабильность во влажной атмосфере [7].

Цель настоящей работы – провести синтез твердых растворов двойных систем $\text{NdInO}_3 - \text{LaInO}_3$, $\text{PrInO}_3 - \text{LaInO}_3$, $\text{SmInO}_3 - \text{LaInO}_3$ и изучить их кристаллическую структуру и физико-химические свойства.

Индаты $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ (Ln = Nd, Pr, Sm) ($x = 0, 0,1, 1,0$) получали керамическим методом из оксидов индия In_2O_3 , неодима Nd_2O_3 , празеодима Pr_6O_{11} , самария ISm_2O_3 , лантана La_2O_3 . Все реактивы имели квалификацию не ниже «х.ч.». Оксиды самария и лантана были предварительно прокалены при 1173 К в течение 1 ч. Порошки исходных соединений, взятые в заданных молярных соотношениях, смешивали и мололи в планетарной мельнице «Pulverizette 6» с

добавлением этанола. Полученную шихту с добавлением этанола прессовали под давлением 50–70 МПа в таблетки диаметром 25 мм и высотой 5–7 мм и затем отжигали при 1523 К на воздухе в течение 5 ч. После предварительного обжига таблетки дробили, перемалывали, прессовали в бруски длиной 30 мм и сечением $5 \times 5 \text{ мм}^2$, которые отжигали при температуре 1523 К на воздухе в течение 5 ч.

Рентгеновские дифрактограммы получали на дифрактометре D8 ADVANCED с использованием $\text{CuK}\alpha$ – излучения в диапазоне углов 2Θ 20° – 80° . Параметры кристаллической структуры исследованных индатов определяли при помощи рентгеноструктурного табличного процессора RTP и данных картотеки международного центра дифракционных данных (ICDD JCPDS).

Инфракрасные спектры синтезированных индатов в интервале волновых чисел 350 – 900 см^{-1} (с погрешностью измерений $\pm 2 \text{ см}^{-1}$) записывали в таблетированных с KBr («х.ч.») смесях на ИК-Фурье спектрометре NEXUS фирмы THERMO NICOLET.

Дифференциальный термический (ДТА) и термогравиметрический (ТГ, ДТГ) анализы проводили на дериватографе TGA / DSC1 фирмы METTLER TOLEDO (Швейцария) до максимальной температуры 1000°C с использованием в качестве эталона Al_2O_3 (используются платиновые тигли; скорость нагревания – $10^\circ\text{C}/\text{мин.}$; атмосфера – статическая; навеска образца 100 мкг). Относительная погрешность определения массы $0,0001\%$, относительная погрешность измерения температуры $0,15\%$.

Термическое расширение керамических образцов исследовали на воздухе в интервале температур 300 – 1100 К при помощи кварцевого dilatометра (вертикально расположенный толкатель, материал корпуса и толкателя – плавленый кварц) с индикатором микронным ИГМ (рычажно-зубчатая многооборотная головка с ценой деления $0,001 \text{ мм}$ в динамическом (скорость нагрева и охлаждения 3 – $5 \text{ К} \cdot \text{мин}^{-1}$) режиме. Нагрев и охлаждение осуществляли на воздухе в печи сопротивления.

Анализ рентгеновских дифрактограмм показал, что полученные образцы были однофазными, в системах NdInO_3 – LaInO_3 , PrInO_3 – LaInO_3 , SmInO_3 – LaInO_3 образуется непрерывный ряд твердых растворов $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$, $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ и $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ соответственно, обладающих кристаллической структурой

орторомбически искаженного перовскита. При увеличении степени замещения x редкоземельных ионов ионами La^{3+} наблюдается постепенный рост параметров a , b , c (таблица 1) и объема элементарной ячейки V твердых растворов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$). Степень орторомбического искажения ($\varepsilon = (b-a)/a$) при увеличении степени замещения x постепенно уменьшается для системы $\text{NdInO}_3 - \text{LaInO}_3$: от $4,72 \cdot 10^{-2}$ для NdInO_3 до $3,87 \cdot 10^{-2}$ для LaInO_3 , для системы $\text{PrInO}_3 - \text{LaInO}_3$: от $4,46 \cdot 10^{-2}$ для PrInO_3 до $3,74 \cdot 10^{-2}$ для LaInO_3 и для системы $\text{SmInO}_3 - \text{LaInO}_3$: от $5,34 \cdot 10^{-2}$ для SmInO_3 до $3,73 \cdot 10^{-2}$ для LaInO_3 .

Таблица 1 – Параметры кристаллической решетки a , b , c для индатов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$)

| x | система $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ | | | система $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ | | | система $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ | | |
|-----|---|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
| | $a, \text{\AA}$ | $b, \text{\AA}$ | $c, \text{\AA}$ | $a, \text{\AA}$ | $b, \text{\AA}$ | $c, \text{\AA}$ | $a, \text{\AA}$ | $b, \text{\AA}$ | $c, \text{\AA}$ |
| 0,0 | 5,631 | 5,897 | 8,133 | 5,653 | 5,905 | 8,150 | 5,580 | 5,878 | 8,101 |
| 0,1 | 5,633 | 5,902 | 8,136 | 5,657 | 5,910 | 8,154 | 5,600 | 5,885 | 8,112 |
| 0,2 | 5,641 | 5,903 | 8,143 | 5,665 | 5,911 | 8,156 | 5,609 | 5,887 | 8,122 |
| 0,3 | 5,647 | 5,908 | 8,148 | 5,674 | 5,914 | 8,162 | 5,608 | 5,897 | 8,128 |
| 0,4 | - | - | - | 5,680 | 5,919 | 8,173 | 5,651 | 5,904 | 8,159 |
| 0,5 | 5,674 | 5,916 | 8,171 | 5,688 | 5,921 | 8,176 | 5,652 | 5,908 | 8,159 |

Продолжение таблицы 1

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,6 | - | - | - | 5,695 | 5,926 | 8,185 | 5,687 | 5,907 | 8,185 |
| 0,7 | 5,689 | 5,927 | 8,182 | 5,701 | 5,928 | 8,194 | 5,711 | 5,924 | 8,205 |
| 0,8 | 5,705 | 5,929 | 8,202 | 5,705 | 5,928 | 8,204 | 5,717 | 5,927 | 8,212 |
| 0,9 | 5,711 | 5,930 | 8,209 | 5,713 | 5,930 | 8,207 | 5,724 | 5,931 | 8,218 |
| 1,0 | 5,712 | 5,933 | 8,220 | 5,718 | 5,932 | 8,214 | 5,724 | 5,938 | 8,220 |

В интервале температур 400-1120 К на температурных зависимостях относительного удлинения $(\Delta \ell / \ell_0)$ образцов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$) отсутствуют явно выраженные аномалии. Это указывает на отсутствие в этом интервале температур протекания каких-либо фазовых переходов. Методом наименьших квадратов для образцов индатов были рассчитаны средние линейные коэффициенты термического расширения (α) (таблица 2).

Таблица 2 – Средние линейные коэффициенты термического расширения (α) образцов индатов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$)

| Соединение | $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$ | Соединение | $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$ | Соединение | $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$ |
|--|------------------------------------|--|------------------------------------|--|------------------------------------|
| NdInO_3 | 8,89 | PrInO_3 | 8,40 | SmInO_3 | 9,65 |
| $\text{Nd}_{0,8}\text{La}_{0,2}\text{InO}_3$ | 9,23 | $\text{Pr}_{0,8}\text{La}_{0,2}\text{InO}_3$ | 8,86 | $\text{Sm}_{0,9}\text{La}_{0,1}\text{InO}_3$ | 9,74 |
| $\text{Nd}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{InO}_3$ | 8,86 | $\text{Pr}_{0,6}\text{La}_{0,4}\text{InO}_3$ | 8,96 | $\text{Sm}_{0,8}\text{La}_{0,2}\text{InO}_3$ | 9,71 |
| $\text{Nd}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{InO}_3$ | 8,81 | $\text{Pr}_{0,4}\text{La}_{0,6}\text{InO}_3$ | 9,18 | $\text{Sm}_{0,6}\text{La}_{0,4}\text{InO}_3$ | 9,88 |
| $\text{Nd}_{0,3}\text{La}_{0,7}\text{InO}_3$ | 8,65 | $\text{Pr}_{0,2}\text{La}_{0,8}\text{InO}_3$ | 8,89 | $\text{Sm}_{0,5}\text{La}_{0,5}\text{InO}_3$ | 8,96 |
| LaInO_3 | 10,48 | LaInO_3 | 9,19 | $\text{Sm}_{0,4}\text{La}_{0,6}\text{InO}_3$ | 9,29 |
| | | | | $\text{Sm}_{0,2}\text{La}_{0,8}\text{InO}_3$ | 9,18 |
| | | | | LaInO_3 | 10,53 |

Полученные результаты показывают, что увеличение степени замещения x редкоземельных ионов ионами La^{3+} приводит к постепенному увеличению как параметров кристаллической решетки (таблица 1) и объема элементарной ячейки, так и к постепенному увеличению коэффициента линейного термического расширения (α) для системы $\text{NdInO}_3 - \text{LaInO}_3$ от $8,89 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для NdInO_3 до $10,48 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для LaInO_3 , для системы $\text{PrInO}_3 - \text{LaInO}_3$ от $8,40 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для PrInO_3 до $9,19 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для LaInO_3 . Для системы $\text{SmInO}_3 - \text{LaInO}_3$ коэффициенты линейного термического расширения (α) в зависимости от степени замещения отличаются незначительно и изменяются без определенной закономерности в интервале значений $(8,96 - 10,53) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Ввиду того, что ИК-спектры для индивидуальных индатов редкоземельных элементов LnInO_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$) и индата лантана LaInO_3 отличаются незначительно, то увеличение степени замещения (x) редкоземельных ионов Ln^{3+} ионами La^{3+} для твердых растворов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$) приводит лишь к незначительному изменению частот и интенсивностей полос поглощения.

На кривых ДСК для всех исследованных индатов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$) отсутствуют тепловые эффекты. Однако на кривых ТГ, ДТГ наблюдается сравнительно незначительная потеря массы.

Общая потеря массы (Δm) при нагревании навески порошков индатов до 1273 К в зависимости от x изменяется без определенной закономерности в интервале (0,0064-0,1133) мас. %. для $\text{Nd}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$, (0,1803-0,5813) мас. %. для $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ и (0,1409-0,2701) мас. %. для $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$.

Следует отметить, что на полученных нами кривых ТГ, ДТГ для индатов самария-лантана $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ сравнительно резкая потеря массы наблюдается в области температур 572-589 К а для индатов

празеодима-лантана $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ в области температур 573-599 К и для образцов, кроме $x = 0, 7$, также в интервале температур 899-230 К.

Вероятно, природа незначительной потери массы в интервалах температур 572-589 К и 573-599 К для индатов $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ и $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ одинакова, но в настоящей работе не установлена.

Установлено, что в системе индатов $\text{LnInO}_3 - \text{LaInO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$) образуется непрерывный ряд твердых растворов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ со структурой орторомбически искаженного перовскита, параметры элементарной ячейки которых при увеличении степени замещения (x) ионов Ln^{3+} ионами La^{3+} постепенно увеличиваются.

В интервале температур 450-1050 К относительное удлинение $\Delta\ell/\ell$ образцов при повышении температуры увеличивается практически линейно, что указывает на отсутствие протекания в исследованных индатах каких-либо фазовых переходов в температурном интервале. Рассчитанные методом наименьших квадратов по температурным зависимостям относительного удлинения средние линейные коэффициенты теплового расширения (α) отличаются незначительно для различных степеней замещения (x).

ИК-спектры синтезированных образцов твердых растворов отличаются незначительно.

Проведен комплексный термический анализ синтезированных образцов индатов $\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$). На кривых ДСК для всех исследованных образцов отсутствуют тепловые эффекты, что свидетельствует об отсутствии в данных индатах фазовых переходов первого рода. На кривых ТГ, ДТГ наблюдается незначительная потеря массы.

Список литературы

1. Арсеньев, П. А. Соединения редкоземельных элементов. Системы с оксидами элементов I – III групп / П.А. Арсеньев [и др.]. – М.: Наука. – 1983. – 280 с.
2. Федоров, П.И. Химия галлия, индия, таллия / П.И. Федоров, М.В. Мохосоев, Ф.П. Алексеев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 222 с.
3. Портной, К.И. Кислородные соединения редкоземельных элементов: справ. изд. / К.И. Портной, Н.И. Тимофеева. – М.: Металлургия. – 1986. – 480 с.

4. Арсеньев, П.А. Кристаллохимия твердых растворов окисных соединений со структурой перовскита / П.А. Арсеньев, В.В. Фенин, А.В. Потемкин // Межвузовский сборник / Уральск. политехн. ин-т. – Свердловск, 1979. – Вып. 3: Химия твердого тела. – С. 55-59.
5. Писаренко, В.Ф. Скандобораты редких земель – новые лазерные материалы / В.Ф. Писаренко // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 11. – С.111-116.
6. New opportunities for lanthanide luminescence / J.-C.G. Bünzli [et al.] // Journal of rare earths. – 2007. – Vol. 25, Issue 5. – P. 257-274.
7. Luminescent properties of a new red-emitting phosphor based on LaInO_3 for LED / A. Tang [et al.] // Optoelectronics and advanced materials – rapid communications. – 2011. – Vol. 5, No. 10. – P. 1031-1034.

$\text{Ln}_{1-x}\text{La}_x\text{InO}_3$ ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Pr}, \text{Sm}$) solid solutions were synthesized by ceramic method for the first time. It was found that all samples had the structure of orthorhombically distorted perovskite. Temperature dependences of relative elongation had no anomalies due to the phase transitions. On the DSC curves for all the samples investigated no thermal effects were observed.

Кандидатова Ирина Николаевна, студентка Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь, kin1988@mail.ru.

Научный руководитель – *Баширов Леонид Андреевич*, доктор химических наук, профессор, Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, bashkirov@bstu.unibel.by.

УДК 621.89

Ю.И. Кожало

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Статья посвящена изучению влияния добавок на пластичные смазки для прецизионных узлов трения. При наличии дисперсных добавок в пластичной смазке происходит заметное увеличение суммарной силы зажима и потери усилия зажима существенно снижаются.

Пластичные смазки получили широкое применение в различных парах трения. Наиболее существенными, влияющими на эффективность применения пластичных смазок, являются следующие факторы: особенности узлов трения и условия эксплуатации смазок – температура, нагрузка, скорость перемещения трущихся пар; совместимость смазок с конструктивными материалами; совместимость

смазок друг с другом при их возможном смешивании [1]. Состоят пластичные смазки, как правило, из базового масла, загустителя и добавок. Добавки необходимы для улучшения эксплуатационных свойств. К ним относятся:

- присадки – представляют собой маслорастворимые поверхностно-активные вещества;
- наполнители – улучшают антифрикционные и герметизирующие свойства. Представляют собой твердые вещества, как правило, неорганического происхождения, нерастворимые в масле (дисульфид молибдена, графит, слюда и др.);
- модификаторы структуры – способствуют формированию более прочной и эластичной структуры смазки. Представляют собой поверхностно-активные вещества (кислоты, спирты и др.) [2].

Одним из способов повышения несущей способности смазочного слоя и снижения трения является введение различных добавок в смазки. Известно, что в качестве антифрикционных добавок используются высокодисперсные твёрдые смазочные материалы: графит, дисульфид молибдена – материалы со слоистой структурой, обладающие невысоким сопротивлением к сдвиговым деформациям.

Введение в состав композиционных материалов высокодисперсных частиц политетрафторэтилена (УПТФЭ) положительно сказывается на их триботехнических характеристиках. Предположительно, использование в составе пластичных смазок УПТФЭ позволит снизить коэффициент трения и увеличить ресурс работы трибосопряжений.

Целью работы является изучение влияния добавок высокодисперсных модификаторов в составе пластичных смазок для прецизионной оснастки на эксплуатационные параметры ее работы.

В работе представлены результаты стендовых испытаний токарных патронов 3-200.33.01 на ОАО «БелТАПАЗ» согласно стандартной методике на оценку усилия зажима в условиях однократного закладывания смазки в зубчатое зацепление. В качестве основы использовали смазку Литол-24 (образец № 1), модифицированную MoS_2 (образец №2) и УПТФЭ (образец № 3).

В ходе стендовых испытаний оценивали суммарную статическую силу зажима при отсутствии смазки. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения суммарной статической силы зажима токарных патронов

| № образца | Прилагаемое усилие на ключе, Н · м | Средняя суммарная статическая сила зажима, Н | |
|-----------|------------------------------------|--|------------|
| | | Без смазки | Со смазкой |
| 1 | 160 | 35700 | 36300 |
| 2 | 160 | 35700 | 36700 |
| 3 | 160 | 35700 | 37400 |

Важным показателем эффективной и надежной работы токарного патрона является потеря усилия зажатия в процессе многократного использования патрона. Результаты этих измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Интенсивность потери усилия зажима токарных патронов

| № образца | Потеря усилия зажима, % | |
|-----------|-------------------------|------------|
| | среднее | допустимое |
| 1 | 20,3 | 66 |
| 2 | 20,0 | 66 |
| 3 | 19,5 | 66 |

На основании проведенных исследований статической силы зажима при наличии дисперсных добавок в пластичной смазке можно сделать следующие основные выводы:

- происходит заметное увеличение суммарной силы зажима при введении добавок;
- потери усилия зажима существенно снижаются;
- состав № 3 отличается более заметным улучшением эксплуатационных показателей токарных патронов в сравнение образцами № 1 и 2.

В результате введения в состав пластичной смазки MoS_2 образуется разделительный слой с прочностью, более высокой, чем граница пластичности большинства металлов и, к тому же, с минимальным коэффициентом трения. Также обеспечивается высокая производительность смазки и эффективная защита и заметное увеличение суммарной силы зажима. Потери усилия зажима токарного патрона при этом минимальные.

Список литературы

1. Катаева, В.Н. Справочник по пластическим массам / В.Н. Катаева. – 2-е изд. – М., 1975. – Т. 1-2.
2. Электронный ресурс: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3399.html>
3. Электронный ресурс: <http://mirmazok.ru/blogs/modules.php?name=articles&id=1471>.

Increases of bearing ability of a lubricant layer and decrease in a friction achieve introduction of various additives in greasings. At their presence there is an appreciable increase in total force of a clip and loss of effort of a clip essentially decrease.

Кожало Юлия Игоревна, студентка 5 курса факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, snake0820@mail.ru.

Научный руководитель – *Скаскевич Александр Александрович*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана факультета инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, d4908@grsu.by.

УДК 66-933.6:661.1

В.Р. Кожаневский

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОЧНО- ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Микропроцессорная система управления предназначена для автоматического контроля, управления и защиты поточно-транспортными потоками складского хозяйства.

Целью создания системы является создание на базе микропроцессорной техники комплекса автоматического контроля и противоаварийной защиты, обеспечивающего ведение технологического режима в заданных регламентом нормах, и замену выработавших свой срок службы средств автоматизации и контроля. При этом в системе предусматриваются:

- дистанционное управление электроприводами;
- обеспечение защиты технологического режима;

- обеспечение защиты технологического оборудования, т.е. выполнение необходимых действий при отклонении от штатных режимов функционирования и аварийных ситуациях;
- необходимые для безопасной работы оборудования блокировки;
- распечатка технологической информации по запросам оператора и автоматически в аварийных случаях;
- звуковая и световая сигнализация предаварийных и аварийных ситуаций;
- диагностика состояния объекта управления и контроль текущего состояния системы.

По территориальной степени централизации система является одноуровневой. Контроль текущего состояния, обеспечивающий интерфейс взаимодействия оператора с объектом управления, состоит из двух функционально-взаимозаменяемых мест: рабочее место оператора и резервное место оператора – инженерное место (инжиниринговые работы по системе управления).

Система имеет:

- резервируемую информационную сеть;
- полностью резервированное питание центральной части и панелей расширения;
- реализацию логических схем противоаварийной защиты, которая производится в резервированном центральном процессоре;
- резервированный сопроцессорный модуль для реализации задач блокировок;
- для создания интерфейса оператора используется СКАДА;
- возможность дальнейшего расширения.

Система управления и контроля работает круглосуточно и обеспечивает непрерывное ведение режима, сохраняет работоспособность основных функций при выходе из строя отдельных элементов и позволяет производить ремонт или замену элементов без остановки технологического процесса. Кроме общесистемного диагностирования производится диагностирование коммуникаций и соединений, систем питания, а также диагностирование исправности электрических каналов ввода-вывода.

Электрическое питание средств КИПиА осуществляется от источников бесперебойного питания, которые в свою очередь запитываются от существующих двух независимых вводов через механический автоматический ввод резерва (АВР). Все выводы

электрического питания укомплектованы стандартными электрическими автоматическими выключателями.

Защита от несанкционированного доступа предусматривает два уровня. Первый уровень – защита настраиваемой информации (настроечных параметров и коэффициентов), второй уровень – защита информации (функций конфигурации, программного обеспечения и т.п.), нарушения в которой может привести к потере или изменению рабочих функций системы.

Система имеет возможность сохранности накапливаемой, настраиваемой, конфигурируемой информации с помощью ПЗУ и внешних магнитных носителей и восстановления ее в следующих аварийных ситуациях:

- потеря питания;
- выход из строя (отказ) устройств памяти, процессоров и др., который может привести к частичной или полной потере информации по конфигурированию и т.п.;
- выход из строя средств накопления и хранения информации.

Программное обеспечение обеспечивает эффективную работу вычислительных средств в режимах:

- подготовки задачи;
- нормальной эксплуатации в режиме реального времени;
- профилактического контроля и поиска неисправностей.

Список литературы

1. Голубятников, В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебник для техникумов / В.А. Голубятников, В.В. Шувалов. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 350 с.
2. Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский. – М.: Энергия, 1980. – 512 с.
3. Полоцкий, Л.М. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации / Л.М. Полоцкий, Г.И. Лапшенков. – М.: Химия, 1982. – 295 с.
4. Пьявченко, Т.А. Проектирование АСУТП в SCADA-системе: учебное пособие / Т.А. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 84 с.
5. Федоров, Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка: учебно-практическое пособие / Ю.Н. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 стр., 12 ил.

The microprocessor control system is designed for automatic monitoring, control and emergency protection of traffic flow-storage facilities. The control system is based on serially produced technical means.

Кожаневский Виталий Ромуальдович, студент 5 курса кафедры промышленной электроники физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vik777vik777@mail.ru.

Научный руководитель – *Зайкова Светлана Алексеевна*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, физико-математический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sunny@grsu.by.

УДК 543.06(07)

Т.М. Корнилова, Е.В. Гуца, Н.К. Орехво

КОРРОЗИЯ СТАЛИ В ГИПСОБЕТОНЕ

Коррозия приводит ежегодно к миллиардным убыткам, и разрешение этой проблемы является важной задачей. В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса коррозии стальной арматуры в гипсобетоне и приводятся методы защиты от коррозии.

В ряде стран с сухим климатом плиты и блоки из смесей (плотных и поризованных) на основе гипсовых вяжущих β - и α -модификации используют, например, при возведении стен и перегородок (рисунок 1). При средней плотности 1500-1800 кг/м³ гипсобетонные изделия обладают необходимыми прочностными свойствами.



Рисунок 1 – Рабочий момент выполнения каменной кладки из гипсобетонных блоков ($\rho = 1500-1800$ кг/м³) размерами 200×200×400 мм

Вследствие действия ряда причин сборные изделия из гипсобетонов не нашли широкого применения в практике жилищного строительства в Республике Беларусь.

Для повышения несущей способности каменной кладки из гипсобетонных изделий она может быть выполнена армированной, например, стальными сетками, стержнями.

Стальная арматура при контакте с гипсовыми смесями и гипсодержащими искусственными камнями активно корродирует, т.е. разрушается с образованием ржавчины [1,2].

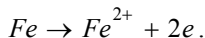
Цель настоящего исследования – изучить процессы, происходящие при контакте стальной арматуры с плотным гипсобетоном в составе стеновых, перегородочных и других изделий.



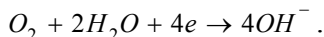
Рисунок 2 – Стальной стержень в водопроводной воде (pH = 7,8) через 10 суток

Процесс коррозии стали в воде достаточно изучен (рисунок 2) и протекает как два независимых процесса:

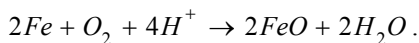
1. Анодный процесс, состоящий в переходе ионов железа в раствор:



2. Катодный процесс. Заключается во взаимодействии избыточных электронов металла с каким-либо атомом или ионом, способным восстанавливаться. В нейтральной среде происходит восстановление кислорода с образованием гидроксид-ионов:

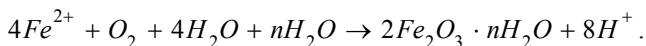


Железо корродирует в слое воды, насыщенном кислородом. Начальную стадию коррозии железа можно описать реакцией:



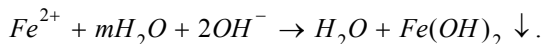
Известно, что в водной среде ионы Fe^{2+} в присутствии кислорода окисляются до Fe^{3+} .

Вторая стадия коррозии соответствует реакции образования гидратированного оксида железа (ржавчины) $2Fe_2O_3 \cdot nH_2O$:

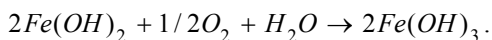


Ржавчина образуется на поверхности в виде шероховатого налета, который имеет рыхлую структуру.

Железо при pH среды $> 5,5$ образует труднорастворимый гидрат закиси железа, имеющий белый цвет:



При взаимодействии гидрата закиси железа с растворенным кислородом в воде, образуются еще более труднорастворимое соединение – гидрат окиси железа (бурый цвет):



Ржавчина может существовать в двух формах: магнитной ($\gamma - Fe_2O_3$) и немагнитной ($\alpha - Fe_2O_3$).



**Рисунок 3 – Гипсобетон
($pH = 6,5 - 7$) на водопроводной
воде со стальным стержне**

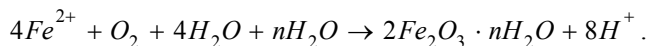


**Рисунок 4 – Гипсобетон
($pH = 7 - 7,5$) на водопроводной
воде со стальным стержнем (следы
коррозии металла проявились через
1 сутки)**

Процесс ржавления металла начинается только при наличии в воздухе влаги. При попадании на поверхность изделия из железа капли воды, спустя некоторое время, можно заметить изменение ее цвета. Капля становится мутной и постепенно окрашивается в бурый цвет. Это свидетельствует о появлении, на месте контакта воды с поверхностью, продуктов коррозии железа.

Для исследования коррозии стального стержня в гипсобетоне приготавливали смесь на основе вяжущего β -модификации марки Г5 при $B / \Gamma = 0,5$ (нормальная густота). Использовали как водопроводную, так и дистиллированную воду (рисунки 3, 4).

При смешении гипсового вяжущего с водой (система $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$; $\text{pH} = 7$) имеет место гидролиз по схеме:



Это значит, что введение $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ практически не сказывается на окислительно-восстановительных процессах, связанных с коррозией железосодержащего металла (рисунок 5, 6).



Рисунок 5 – Гипсобетон на водопроводной воде со стальным стержнем (следы от ржавчины через 10 суток)



Рисунок 6 – Стальной стержень из гипсобетона на водопроводной воде (извлечен через 10 суток)

Исследования показали, что процесс коррозии стального стержня протекает активно в гипсобетонах как на водопроводной, так и на дистиллированной воде.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Адгезия между гипсовым камнем и незащищенным стальным стержнем (арматурой) отсутствует вследствие образования ржавчины. Для повышения коррозионной стойкости стальной арматуры могут быть введены ингибиторы коррозии.

2. При изготовлении армированных гипсобетонных изделий следует применять технологические приемы, аналогичные описанным, например, в ТКП 45-5.03-137-2009 «Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления».

3. Для антикоррозионных покрытий применяют холодную цементно-битумную, цементно-полистирольную, латексно-цементную, горячую ингибированную сланцебитумную цементную, латексно-минеральную, олигоэфирную металлосиликатную мастики, антикоррозионные лаки, эмали и грунтовки II и III групп в соответствии с ТКП 45.2.01-111, а также другие антикоррозионные материалы, обеспечивающие долговечность и коррозионную стойкость арматурных изделий, удовлетворяющие требованиям действующих ТНПА Республики Беларусь.

Список литературы

1. Минюк, Г.Е. Химия: лабораторный практикум / Г.Е. Минюк, В.В. Опекунов. – Гродно: ГрГУ, 2010. – 91 с.

2. Опекунов, В.В. Строительное материаловедение. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / В.В. Опекунов, Г.Е. Минюк, Д.Н. Савеня. – Гродно: ГрГУ, 2011. – 135 с.

The process of corrosion of stell reinforcement in gypsum concrete, established the mechanish of this process and its general laws, are the methods of corrosion protection.

Корнилова Татьяна Михайловна, аспирантка Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь, tan4iky30@mail.ru.

Гуца Екатерина Витальевна, студентка Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь, hushcha@mail.ru.

Орехово Наталья Константиновна, кафедра строительного материаловедения, инженерно-строительный факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Опекунов Вадим Викторович*, доктор технических наук, профессор, кафедра строительного материаловедения, инженерно-строительный факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 543.06(07)

Т.М. Корнилова, И.С. Рудая

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВ

Представлены результаты экспериментальных исследований водопоглощения прессованного и экструзионного пенополистиролов. Установлены зависимости водопоглощения пенополистиролов от времени насыщения их водой и от размеров материала.

Водопоглощение – способность погруженного в воду материала впитывать её, а затем удерживать молекулярными и капиллярными силами при атмосферном давлении. Водопоглощение теплоизоляционного строительного материала в основном зависит от природы пор (замкнутые, открытые), их размеров и степени гидрофильности строительного материала.

Прессованный и экструзионный пенополистиролы (ППС) находят применение в практике, например, жилищного строительства (рисунки 1, 2).



а



б

Рисунок 1 – Образцы пенополистирола: а – прессованный пенополистирол; б – экструзионный пенополистирол

В случае нерационального использования ППС в конструкциях стен всегда есть опасность деструкции ППС вследствие повышенного увлажнения теплоизоляционных изделий (рисунок 3).

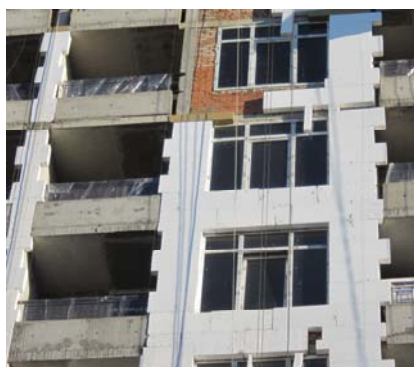


Рисунок 2 – Самонесущие кирпичные стены с тепловой изоляцией из пенополистирольных плит



Рисунок 3 – Фрагмент стены эксплуатирующегося дома, утепленного пенополистирольными плитами, опирающимися на карниз с металлическим сливом

Имеющаяся информация о водопоглощении пенополистиролов противоречива [1]. Информация о степени гидрофобности ППС как полимерного материала отсутствует.

Цель исследования – определить фактический уровень водопоглощения различных пенополистиролов.

Водопоглощение характеризуется количеством воды, поглощенной материалом, полностью погруженным в воду. Для определения водопоглощения образцы пенополистирола вначале высушивали до постоянной массы, а затем погружали в сосуд с водой температурой около 20 °С и $pH = 6,5-7$. После насыщения образцов водой производили их взвешивание и рассчитывали водопоглощение по массе согласно методике, приведенной в работе [2].

Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные по водопоглощению прессованного и экструзионного пенополистиролов

| Длительность насыщения образцов водой, сут | Водопоглощение, мас. % | |
|--|-----------------------------|------------------------------|
| | Прессованный пенополистирол | Экструзионный пенополистирол |
| 1 | 170 | 83 |
| 3 | 192 | 111,7 |

Продолжение таблицы 1

| | | |
|----|-------|-------|
| 10 | 224,7 | 147 |
| 20 | 253,9 | 176,4 |
| 30 | 273,7 | 204 |

Для более наглядного анализа зависимости водопоглощения от времени насыщения образцов водой на рисунке 4 представлены графические изображения данной зависимости для прессованного и экструзионного пенополистиролов.

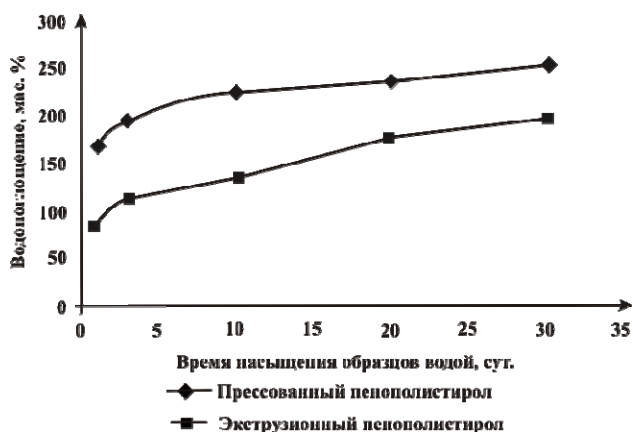


Рисунок 4 – Зависимость водопоглощения по массе от времени насыщения образцов пенополистиролов водой

Из приведенных данных видно, что с увеличением длительности насыщения образцов водой водопоглощение по массе пенополистиролов увеличивается. Экструзионный пенополистирол имеет более низкие значения водопоглощения, чем прессованный пенополистирол и, соответственно, его теплоизоляционные свойства будут лучше.

Водопоглощение образцов строительных материалов зависит также от их размеров, поэтому испытаниям подвергали образцы малого размера (фрагменты размером 3-6 мм). Экспериментальные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные по водопоглощению прессованного и экструзионного пенополистирола малого размера

| Время насыщения образцов водой, сут. | Водопоглощение, мас. % | |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | Прессованный пенополистирол | Экструзионный пенополистирол |
| 1 | 189,3 | 106,4 |
| 3 | 218,3 | 143,9 |
| 10 | 244,8 | 181,4 |
| 20 | 280,2 | 200,2 |
| 30 | 315,6 | 237,7 |

На рисунке 5 приведены зависимости водопоглощения образцов пенополистиролов от времени насыщения водой.

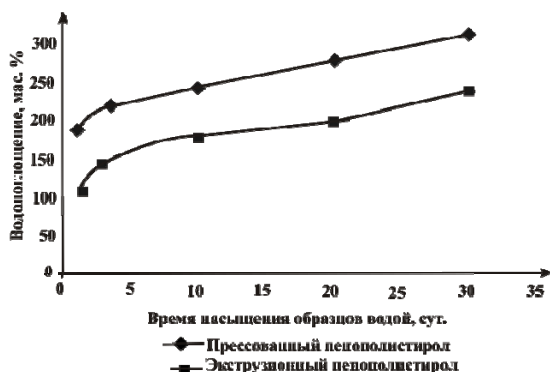


Рисунок 5 – Зависимость водопоглощения по массе от времени насыщения образцов пенополистирола малого размера водой

Из полученных экспериментальных данных следует, что при сорбционной влажности не более 1 % (известные данные других авторов) ППС различного вида имеют высокий уровень водопоглощения, что оказывает существенное влияние на термическое сопротивление ограждающей конструкции, например, в зимний период.

Применение плит из ППС в жилищном и гражданском строительстве предполагает рациональность конструктивного решения стены (рисунок 6)



Рисунок 6 – Фрагмент стены эксплуатирующегося дома, утепленного пенополистирольными плитами с защитно-отделочным покрытием

При этом обеспечивается повышенная долговечность теплоизоляционного слоя стены [1].

Список литературы

1. Опекунов, В.В. Водостойкость строительных материалов / В.В. Опекунов // Керамика: наука и жизнь. – № 1 (11), 2011. – С. 12-22.
2. Опекунов, В.В. Строительное материаловедение. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / В.В. Опекунов, Г.Е. Минюк, Д.Н. Савеня. – Гродно: ГрГУ, 2011. – 135 с.

The results of experimental studies of water absorption of pressed and extruded polystyrene. The dependences of the water absorption of expanded polystyrene from the time of saturation of water and the size of material.

Корнилова Татьяна Михайловна, аспирантка Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь, tan4iku30@mail.ru;

Рудая Ирина Сергеевна, кафедра строительного материаловедения инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Опекунов Вадим Викторович*, доктор технических наук, профессор, кафедра строительного материаловедения, инженерно-строительный факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 678.027

К.В. Кравченко

СТРУКТУРА СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Исследованы особенности формирования структуры в изделиях сложной конфигурации и переменного сечения, изготовленных из сталей пониженной прокаливаемости. Изучены физико-механические характеристики сталей пониженной прокаливаемости, применяемых при изготовлении деталей и изделий для агропромышленного комплекса.

Возрастающие требования к деталям и механизмам сельскохозяйственной техники требуют создания и внедрения более совершенных их конструкций как в части чисто конструкторских решений, так и в части оптимального подбора материалов деталей. Во многих случаях добиться повышения прочности деталей чисто конструктивными решениями не удастся. Это связано с установкой на транспортных средствах более мощных двигателей, что интенсифицирует износ деталей самих транспортных средств, так и почвообрабатывающих механизмов. Анализируя причины выхода машин и механизмов автотракторной техники, так и почвообрабатывающих механизмов из строя, ее отказы можно разделить на внезапные и постепенно развивающиеся. К внезапным отказам относятся разрушение (поломка) изделия, чаще всего наблюдаемое у лесовозных автомобилей. Накопление усталостных микроразрушений обусловлено нагруженностью изделия или механизма при движении автомобиля на установившихся режимах и наложением высокочастотных крутильных колебаний трансмиссии и автоколебаний при буксировании ведущих колес.

Абразивный износ изделий обусловлен контактом изделия с песком, грязью и влагой. Усталостное выкрашивание рабочих поверхностей шипов крестовины, или «питтинг», происходит при значительных контактных напряжениях изделий, достигающих 4000 МПа и вызванных высокими нагрузками, которые неравномерно распределены по рабочей поверхности изделия при контакте с абразивсодержащей средой. Оно заключается в образовании усталостных, микротрещин, которые, развиваясь, приводят к

выкрашиванию металла. «Питтинг» проявляется в виде ямок, осевших на поверхности детали и препятствует дальнейшей нормальной эксплуатации изделия узла. Таким образом, создание технологии формирования градиентных упрочняющих структур в элементах почвообрабатывающей техники является актуальной задачей машиностроения.

Целью данной работы является изучение физико-механических характеристик сталей пониженной прокаливаемости, применяемых при изготовлении деталей и изделий для агропромышленного комплекса.

В качестве базовых материалов применяли углеродистые стали марок 55ПП, 60ПП производства ОАО «Белорусский металлургический завод». Для обеспечения заданных структурных, прочностных и триботехнических характеристик базовые стали подвергали термической, химико-термической обработке.

Исследование характеристик механических свойств и структуры проката из опытной стали 60ПП определяли на стандартных образцах, вырезанных из горячекатаного круга $\varnothing 60$ мм. Образцы подвергали термической обработке по следующему режиму: нормализация при температуре 1213 ± 10 К с последующим охлаждением на воздухе. Кроме того, проводили испытания на осадку в горячем состоянии и испытание на торцовую прокаливаемость.

Исследованы особенности формирования структуры в изделиях сложной конфигурации и переменного сечения, изготовленных из сталей пониженной прокаливаемости. Структурные характеристики изделия и образцов исследовали в различных сечениях в радиальном и осевом направлениях оптимизированы по критериям твердости, прочности при статическом изгибе и усталостной прочности. Металлографический анализ модельных образцов из сталей пониженной прокаливаемости, термообработанных по предложенной многостадийной технологии, свидетельствует о формировании градиентной структуры, подобной структуре композиционного материала. Она состоит из мартенситной и троостосорбитной составляющих высокой зернистости. Соотношение слоев с различным содержанием упрочняющей фазы зависит от режимов нагревания и охлаждения, а отсутствие резких границ раздела между упрочненными приповерхностными и вязкими глубинными слоями создает благоприятные предпосылки для достижения синергического эффекта по критериям износостойкости и устойчивости к воздействию ударных нагрузок.

The features of structure formation in the products of complex configuration and variable cross-section made of steels of low hardenability are analyzed. The physical and mechanical properties of steels of low hardenability used in the manufacture of parts and products for agriculture are studied.

Кравченко Константин Викторович, аспирант 1 года обучения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Slastenov-804@mail.ru.

Научный руководитель – *Овчинников Евгений Витальевич*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана по научной работе, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. ovchin_1967@mail.ru.

УДК 538.9

Е.А. Крутилина

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА С ВОЛЬФРАМОМ И ВИСМУТОМ*

В работе исследованы структура и фазовый состав однослойных и многослойных гальванических покрытий, являющихся перспективными для экранирования элементов микроэлектронной техники от действия космической радиации.

В связи с интенсивным развитием авиационно-космической техники все более актуальной становится проблема повышения эффективности радиационной защиты приборов микроэлектроники путем разработки и создания новых защитных материалов более эффективных, чем алюминий.

Перспективными в этом плане являются гальванические покрытия, содержащих элементы с большим порядковым номером (вольфрам, висмут) и многослойных покрытий, состоящих из слоев с различной кристаллической структурой.

* Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ Ф1106-027.

Такого рода материалы обладают низкой пропускной способностью потоков частиц и гамма-лучей. Целью данной работы является исследование исходных структурно-фазовых состояний гальванически осажденных на медную подложку однослойного покрытия Ni-W (~ 2 мкм) с различным содержанием вольфрама (3,38 – 43,58 ат.%) и многослойных покрытий системы Bi-Cu с различной последовательностью нанесения слоев: Bi/Cu (6 слоев Cu по 3 мкм и 6 слоев Bi по 20 мкм каждый) либо Cu/Bi (9 слоев Bi по 40 мкм и 9 слоев Cu по 5 мкм каждый).

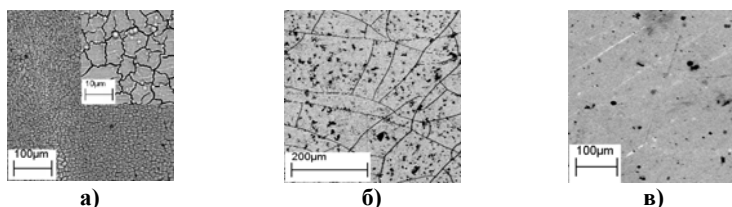


Рисунок 1 – РЭМ-изображение ($\times 200$) поверхности покрытия Ni-W с различным содержанием вольфрама: 3,38 (а; вставка($\times 2000$)), 27,51 (б) и 43,58 (в) ат.%

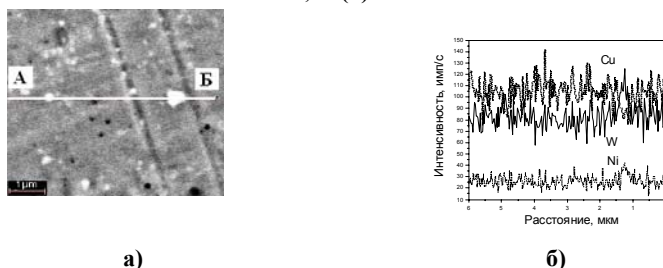


Рисунок 2 – РЭМ-изображение (а; $\times 20000$) и распределение характеристического рентгеновского излучения вольфрама, никеля и меди (б) вдоль линии АВ нанесенного покрытия Ni-W (43,58 (в) ат.%)

Согласно результатам РЭМ- исследований покрытие Ni-W с содержанием вольфрама менее 38 ат.% разделено разветвленной сеткой трещин на множество участков с ячеистой структурой поверхности (рисунок 1, а, б). В интервале составов более 38 ат.% вольфрама особенностью структуры покрытия является отсутствие растрескивания (рисунок 1, в), а также наличие частиц, обогащенных вольфрамом и никелем (рисунок 2).

На рентгенограммах изучаемых образцов во всем диапазоне составов наблюдаются рефлексы от медной подложки, легированной никелем и вольфрамом, а также β -W (рисунок 3). В случае исследования покрытия с концентрацией вольфрама менее 38 ат. % зарегистрирован широкий дифракционный максимум ($2\theta \approx 44$ градуса), что может быть обусловлено формированием в процессе осаждения аморфной фазы никеля. Полуширина указанной дифракционной линии увеличивается от 1,7 до 5,3 при увеличении концентрации вольфрама от 3,4 до 38 ат. %. В предположении, что уширение дифракционной линии в данном случае обусловлено лишь влиянием мелкокристаллической структуры, можно заключить, что с повышением концентрации вольфрама происходит уменьшение размеров кристаллитов (областей когерентного рассеяния) аморфной структуры Ni-W. В то же время увеличение содержания вольфрама приводит к возрастанию среднего межплоскостного расстояния, характерного для этой аморфной структуры (рисунок 4). По-видимому, это связано с формированием твердого раствора Ni(W), присутствие атомов вольфрама в котором обуславливает увеличение параметра решетки.

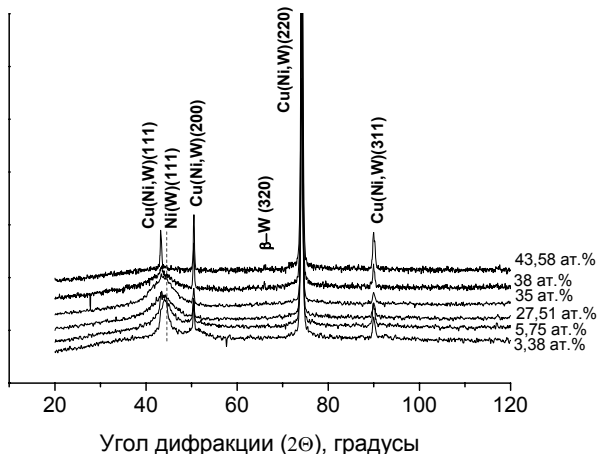


Рисунок 3 – Рентгенограммы от системы медная подложка – покрытие Ni-W с различным содержанием вольфрама

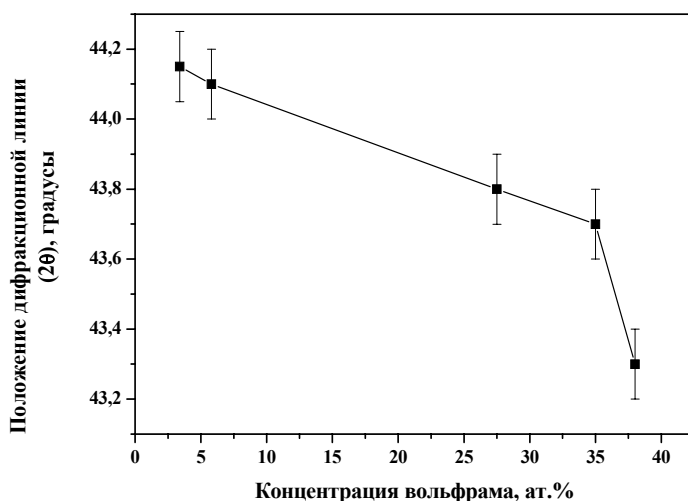


Рисунок 4 – Зависимость положения дифракционного максимума (111) аморфной структуры Ni-W от содержания вольфрама

В свою очередь многослойные покрытия Bi/Cu и Cu/Bi характеризуются мелкокристаллической структурой (рисунок 5, а, б). Однако в случае осаждения покрытия Cu/Bi (рисунок 5, б) зерна более крупные, имеют округлую форму (рисунок 5, б, вставка), а поверхность в целом характеризуется более гладким микрорельефом. Формирование описанных структур поверхности обусловлено, по-видимому, последовательностью осаждения слоев Bi и Cu в покрытии. Так, в случае последовательности слоев Bi/Cu вследствие плохой смачивающей способности висмута по сравнению с медью зерна покрытия имеют ограниченную форму и резкие границы (рисунок 5, а, вставка).

На рентгенограмме изучаемого образца с покрытием Bi/Cu преимущественно наблюдаются рефлексы от кристаллитов висмута (рисунок 6, а). В случае же покрытия Cu/Bi основными фазовыми составляющими образцов являются кристаллиты меди (рисунок 6, б). Однако следует также отметить присутствие менее интенсивных дифракционных максимумов, соответствующих висмуту.



Рисунок 5 – РЭМ-изображение ($\times 100$) поверхности систем подложка – покрытие Bi/Cu (а, вставка $\times 5000$) и подложка – покрытие Cu/Bi (б, вставка $\times 5000$)

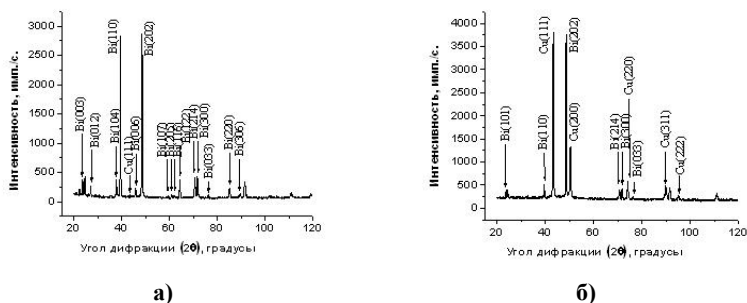


Рисунок 6 – Рентгенограммы от подложка – покрытие Bi/Cu (а) и подложка – покрытие Cu/Bi (б)

Выявление тех или иных указанных фаз в каждой из систем объясняется соотношением толщин слоя, участвующего в формировании дифракционной картины, и слоев покрытия системы Bi-Cu соответственно. Согласно проведенным оценкам толщина слоя, участвующего в формировании дифракционной картины, составляет приблизительно 5 мкм и 27 мкм для покрытий Bi/Cu и Cu/Bi соответственно.

We studied the structure and phase composition of galvanic mono- and multilayer coatings, which are promising for the screening of microelectronic engineering elements from the action of cosmic radiation.

Крутилина Евгения Александровна, аспирант Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Uglov@bsu.by.

УДК 621.793.18

А.Н. Кутько, С.Д. Жук, А.А. Ясюнас

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

В работе приведена расчетная модель определения скорости осаждения материала в магнетронной распылительной системе для случая наклона плоскости мишени распыляемого материала относительно плоскости подложки.

Одним из наиболее эффективных методов нанесения пленок в планарной технологии является метод магнетронного распыления материалов. Этот метод является разновидностью ионно-плазменного распыления. Распыление материала в этих системах происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа. При нормальном падении ионов обратно рассеянные атомы распределяются по углам вылета по закону косинуса [1], как и при испарении из точечного источника. Отсюда следует, что масса вещества, осажденного на единицу площади, определяется соотношением [2]:

$$\frac{dM_r}{dA_r} = \frac{M_r}{\pi r^2} \cos \phi \cos \theta, \quad (1)$$

где M_r – масса испаренного вещества; ϕ – угол между нормалью к поверхности распыления и направлением распыления; θ – угол между нормалью к поверхности подложки и направлением осаждения; r – расстояние от элемента распыления до точки осаждения.

В действительности испарение из многих часто используемых испарителей отличается от идеализированного. Причины такого отклонения заключаются в столкновениях испаряемых молекул друг с другом и со стенками испарителя [2]. В [3] представлена гибридная модель распылительной системы, учитывающая столкновительный характер движения ионов в прикатодном слое и распыленных атомов в

промежутке «мишень-подложка», неплохо согласующаяся с экспериментом. В соответствии с ней в планарной системе скорость осаждения пленки D определяется по формуле:

$$D = V_S \frac{\lambda_a}{d_{\text{м-п}}}, \quad (2)$$

где V_S – скорость распыления мишени, λ_a – средняя длина пробега распыленного атома в рабочем газе; $d_{\text{м-п}}$ – расстояние мишень-подложка.

Распределение испаренного вещества описывается уравнением (1), в зависимости от угла падения и расстояния от испарителя до подложки. Следовательно, профиль толщины пленки может быть получен для подложек любой формы и любого взаимного положения подложки и мишени.

Модель процесса напыления будем строить для случая, показанного на рисунке 1, когда мишень (плоскость xOy) и подложка (плоскость $x'O'y'$) произвольной формы, соосны и располагаются под углом α друг к другу. В этом случае масса вещества, достигающая подложки в точке с координатами r , φ и θ , описывается уравнением (1). Для удобства, будем производить расчеты в векторной форме.

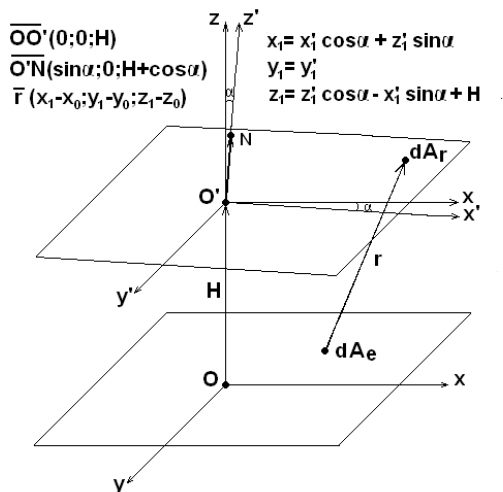


Рисунок 1 – Геометрическая схема модели «мишень-подложка»

$$\vec{r}(x_1 - x_0; y_1 - y_0; z_1 - z_0); \quad |\vec{r}| = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2};$$

$$\vec{OO'}(0; 0; H); \quad |\vec{OO'}| = H;$$

$$\vec{O'N}(\sin \alpha; 0; \cos \alpha + H); \quad |\vec{O'N}| = \sqrt{\sin^2 \alpha + (\cos \alpha + H)^2};$$

$$\cos \phi = \frac{\vec{r} \cdot \vec{OO'}}{|\vec{r}| \cdot |\vec{OO'}|} = \frac{z_1 - z_0}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}};$$

$$\cos \theta = \frac{\vec{r} \cdot \vec{O'N}}{|\vec{r}| \cdot |\vec{O'N}|} = \frac{(x_1 - x_0) \sin \alpha + (z_1 - z_0)(\cos \alpha + H)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \sqrt{\sin^2 \alpha + (\cos \alpha + H)^2}};$$

Подставив все вышеописанные выражения в выражение (1) получим массу вещества, сконденсировавшуюся в определенной точке подложки:

$$\frac{dM_r}{dA_r} = \frac{M_r(x_0; y_0; z_0) \cdot (z_1 - z_0) \cdot [(x_1 - x_0) \sin \alpha + (z_1 - z_0)(\cos \alpha + H)]}{\pi [(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2]^2 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha + (\cos \alpha + H)^2}} \quad (3)$$

Для того чтобы перейти от массы к толщине пленки, выделим малое количество вещества с массой dM_r , которое занимает объем $dA_r d$. Толщину пленки запишем в виде

$$d = \frac{1}{\rho} \frac{dM_r}{dA_r}, \quad (4)$$

где ρ – плотность материала пленки.

Из полученных уравнений непосредственным интегрированием можно определить распределение по толщине тонкопленочного покрытия при известном профиле эрозии мишени и начальном положении мишени и подложки.

Список литературы

1. Кузьмичев, А.И. Магнетронные распылительные системы / А.И. Кузьмичев. – Киев: Аверс, 2008. – С. 16, 20.
2. Майссел, Л. Технология тонких пленок, том 1 / Л. Майссел, Р. Глэнг // М.: Советское Радио, 1977. – 768 с.

3. Кононенко, Ю.Г. Скорость осаждения плёнок в диодном разрядном устройстве / Ю.Г. Кононенко, А.И. Кузьмичёв // Вакуумная наука и технология. 1992. – Т. 2. – № 1. – С. 13-18.

In this paper we have described the calculation model determining the rate of deposition of the material in the magnetron sputtering system for the case of inclination of the plane of the target material to the plane of the substrate.

Кутько Андрей Николаевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, kutek@tut.by.

Жук Сергей Дмитриевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, zhuk_sjarzhuk@tut.by.

Ясюнас Александр Алексеевич, аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, alex.yasunas@gmail.com.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, dm_a_kotov@mail.ru.

УДК 620.22.67.02

А.В. Леменовский

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

В работе проводились исследования структуры образцов политетрафторэтилена (ПТФЭ), углеродного волокна «Вискум», ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) «Форум» методом ИК-спектроскопии и зарядового состояния методом ТСТ в исходном состоянии, а также после механохимической активации в измельчителе лопастного типа. Установлен эффект изменения зарядового состояния механоактивированных материалов.

Политетрафторэтилен получил широкое применение в триботехнических композитах, т.к. обладает сочетанием высоких показателей деформационно-прочностных, триботехнических, физико-химических и теплофизических характеристик.

Однако, при получении композиционных материалов на основе политетрафторэтилена возникают проблемы, связанные с выраженной инертностью материала матрицы, а также высокой вязкостью расплава: трудно обеспечить достаточную адгезионную прочность в месте контакта полимера с поверхностью наполнителя [1].

В связи с низким уровнем адгезионного взаимодействия фазы ПТФЭ с практически любыми твердофазными частицами в композиционных материалах не удается сохранить исходные показатели деформационно-прочностных характеристик связующего, прежде всего, показателей прочности при растяжении [2]. Поэтому основные исследования в области создания фторкомпозитов направлены на увеличение адгезионного взаимодействия компонентов на границе раздела «матрица ПТФЭ – функциональный наполнитель». Наиболее распространенным наполнителем фторкомпозитов являются углеродные волокна. Однако для них характерна низкая активность поверхностного слоя.

Широко распространенным технологическим приемом увеличения силы адгезионной связи является механохимическая активация исходных компонентов. Считают, что механическое воздействие на твердофазные частицы приводит к формированию особого зарядового состояния с большим временем релаксации, достаточным для осуществления последующих технологических операций с сохранением эффекта модифицирования [3].

Цель данной работы состояла в изучении влияния механохимической активации на зарядовое состояние компонентов, т.к. его изменение предполагает более активное модифицирующее действие по отношению к полимерным матрицам.

Сравнение ИК-спектров фторкомпозитов в исходном состоянии и после механохимической активации показало, что новых связей не образуется, происходит увеличение интенсивности полос поглощения при волновых числах 1150 см^{-1} и 1210 см^{-1} , что свидетельствует о структурных изменениях, а именно, об усилении валентных и деформационных колебаний групп CF_2 и CC . Уменьшилась интенсивность полос поглощения в аморфной фазе.

Анализируя данные зарядового состояния исходных и активированных компонентов, можно сказать, что на соответствующих ТСТ-спектрах видно ряд пиков, интенсивность которых заметно выше, чем у исходных образцов. Это говорит об изменении зарядового состояния веществ, об увеличении величины нескомпенсированного заряда.

Механохимический метод подготовки компонентов функциональных материалов на основе политетрафторэтилена может обеспечить значительный рост показателей служебных характеристик изделий, а соответственно увеличить их ресурс.

Список литературы

1. Болдырев, В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ / В.В. Болдырев. – М., Успехи химии, 2006.
2. Логинов, Б.А. Удивительный мир фторполимеров / Б.А. Логинов. – 2-е издание, дополненное. – М., 2009. – 168 с.
3. Авдейчик, С.В. Трибохимические технологии функциональных композиционных материалов / С.В. Авдейчик [и др.], под ред. В.А. Струка, Ф.Г. Ловшенко – Гродно: ГТАУ, 2008. – 399 с.

In this paper we study the structure of the samples were polytetrafluoroethylene (PTFE), carbon-fiber "Viskum" ultrafine polytetrafluoroethylene (UPTFE) "Forum" by IR spectroscopy, and charge state by TST at baseline and after mechanical activation in the chopper blade type. Set the effect of changing the charge state of mechanically activated materials.

Леменовский Александр Владимирович, студент 5 курса факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, A.B.Lemenovski@mail.ru.

Научный руководитель – *Гаврилова Валентина Владимировна*, старший преподаватель кафедры МиРТ, факультет инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, V.V.Gavrilova@mail.ru.

УДК 629.114

Д.А. Линник

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПОДВЕСКИ КАБИНЫ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА МТЗ

Проблема создания эффективной виброзащитной системы водителя колёсного трактора представляет собой актуальную задачу и связана с улучшением труда водителя и его безопасностью.

В настоящее время на тракторах ведущих мировых фирм установлены кабины, имеющие достаточно высокий уровень комфорта. Дизайн кабин и тракторов тщательно проработан. Интерьер кабин

представляет целостное стилевое решение по расположению органов управления с учётом эргономики. Достигнуты высокие результаты по уровню шумоизоляции, обзорности и снижению вибрации. В конструкции кабин широко применяются высококачественные пластмассы для изготовления топливных баков, капотов, крыш, крыльев и декоративных накладок. Окраска кабин и капотов выполнена высококачественными полимерными красками.

Для обеспечения комфортных условий в кабинах применяются сиденья с улучшенной подвеской, открывающиеся верхние люки, безрамочные окна и двери, улучшающие обзорность, противосолнечные шторы и козырьки, обогреватели и кондиционеры, наружные обогреваемые зеркала заднего вида, формованные ковры и обивки интерьера.

На многих моделях тракторов, особенно садовых, ветровое стекло открывается с помощью пневмоподъёмников.

Силовые каркасы кабин имеют 4- и 6-стоечную конструкцию. Силовые элементы выполнены из специальных фасонных профилей, имеющих толщину 3 – 5 мм, труб прямоугольного или квадратного сечения толщиной до 7 мм, штампосварных деталей из листового проката толщиной до 6 мм.

В кабинах применяются стёкла плоской, цилиндрической или сферической форм, чаще используются цилиндрические. Распространены конструкции дверей двух типов – безрамочные (наиболее распространённые) и рамочные из спецпрофилей с клееными стёклами.

Шумозащитные функции в кабинах выполняют резиновые формованные ковры, полужёсткие формованные обивки интерьера и мягкие обивки верхнего пояса кабины. Уровень шума в кабинах тракторов находится в пределах 76 – 80 дБА, а на лучших образцах до 72 дБА.

Таким образом, ускорения действующие на сиденье водителя, и уровень шума в кабине колёсной машины строго регламентированы международными стандартами [1, 2]. Поэтому производители колёсных машин постоянно совершенствуют виброзащитные системы, внедряют новые шумопоглощающие материалы в конструкциях кабин водителя.

Задача снижения вибрационных воздействий кабины на водителя решается путём создания эффективных систем поддрессирования сиденья и поддрессирования кабины водителя [3-6]. В современных колёсных тракторах для улучшения виброзащиты водителя колёсного

трактора широко используется способ вторичного поддрессоривания (поддрессоривание кабины).

Кабины тракторов МТЗ (320-6700010 трактора «Беларус-320», 322-6700010 трактора «Беларус-322», 422.1-6700010 трактора «Беларус-422.1», 622-6700010 трактора «Беларус-622», 2522-6700010-01 трактора «Беларус-Г22» и др.) устанавливаются на подвеске, состоящей из резинометаллических виброизоляторов, что не позволяет обеспечить хорошую виброзащиту водителя в процессе его работы.

Кабины зарубежных фирм (SAME, Atles, FENDT, Mc. CORMICK, LAMBORGHINI (Champion)) устанавливаются на подвеске, состоящей из пружины сжатия и работающего в паре гидроамортизатора. Кабина фирмы DEUTZ FAHR установлена на подвеске, состоящей из задних (пневмокамера и спаренный гидроамортизатор) и передних опор (вертикальный сайлент-блок). На тракторах фирмы NEW HOLLAND серии ТМ кабина установлена на подвеске, состоящей из задних (пружина и встроенный гидроамортизатор) и передних опор (вертикальный сайлент-блок).

Оптимизировать конструкцию опор кабины трактора МТЗ можно различными способами (замена материала виброизолятора, изменение конструкции опоры и т.д.). Для оптимизации типовой конструкции опоры необходимо проанализировать существующие опасные сечения. В опорах кабин такими сечениями являются крепление опоры и контактные поверхности элементов конструкции опор. Эти сечения являются опасными, так как при нагружении образуются области повышенных напряжений. Превышение предельных значений напряжений может повлечь за собой разрушение виброизолятора, следовательно, и выход из строя опоры кабины.

Для проектирования и оптимизации опор кабины трактора используются различные конструкторские пакеты, позволяющие не только создать 3D-модель, но и провести виртуальные испытания. В качестве таких компьютерных программ могут быть использованы: SolidWorks, Pro/ENGINEER, PANTOCRATOR, CATIA, Unigraphics, ANSYS LS-DYNA и др.

Таким образом, компьютерное моделирование позволяет исследовать влияние материала детали на напряженное состояние.

Анализ 3D модели опоры кабины позволяет установить следующие особенности напряженно-деформированного состояния:

1. Характер нагружения в зависимости от типа используемого материала.

2. Влияние геометрической формы и размеров виброизолятора с целью оптимизации условий нагружения в месте контакта.

Список литературы

1. ГОСТ 20062-96. Сиденье тракторное. Общие технические условия.
2. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
3. Амельченко, Н.П. Подвеска сиденья водителя колёсного трактора / Н.П. Амельченко, В.А. Ким. – Могилев: БРУ, 2007. – 187 с.
4. Кошман, В.Н. Исследование и снижение низкочастотных колебаний, действующих на водителя колёсного трактора: дис. ... канд. техн. наук / В.Н. Кошман. – 1964. – 264 с.
5. Силаев, А.А. Спектральная теория поддрессирования транспортных машин / А.А. Силаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.: ил.
6. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.: ил.

The problem of creation effective protection from vibration systems of the driver of a wheel tractor represents an actual problem, and is connected with improvement of work of the driver and his safety.

Линник Дмитрий Александрович, аспирант Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Linnik_Dima@mail.ru.

Научный руководитель – *Ким Валерий Андреевич*, доктор технических наук профессор, кафедры технической эксплуатации автомобилей, Белорусско-Российский университет, Могилёв, Беларусь.

УДК 537.226:538.22

А.К. Литвиновская, А.В. Петров, Н.А. Каланда, Г.Г. Горох

ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОСТРУКТУР С ФЕРРОМОЛИБДАТОМ СТРОНЦИЯ В ПОРАХ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

В данной работе рассматриваются получение и исследования композиционных наноструктур, содержащих ферромolibдат стронция, осаждённый в поры модифицированных матриц анодного оксида алюминия.

Использование нанопористых модифицированных матриц анодного оксида алюминия (АОА) является одной из возможностей создания

перспективных композиционных структур, работающих на эффекте туннельного магнитосопротивления с использованием спин-поляризованного электропереноса через интерфейсные границы различных сред [1, 2]. В качестве магнитного материала для данной работы было выбрано соединение ферромolibдата стронция ($\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$ – SFMO), обладающее большим отрицательным магнитосопротивлением $\sim 30\%$ при 4.2 К, высокими значениями температуры Кюри (400 – 430 К), химической стойкостью к восстановительным газовым средам, практически $\sim 100\%$ спиновой поляризацией, температурной стабильностью эффекта гигантского магнитосопротивления и, соответственно, воспроизводимыми магнитотранспортными характеристиками [3,4].

Экспериментальные образцы формировались на основе кремниевых подложек диаметром 100 мм проводимости n-типа (4,5 Ом·см), с кристаллической ориентацией (100). На данные подложки методом магнетронного распыления в вакууме были нанесены слои титана, толщиной 0,2 мкм, и алюминия, толщиной 1,5 мкм. Далее, в слое алюминия методом анодного окисления были созданы упорядоченные поры диаметром около 200 нм, расстояние между которыми составляло 500 нм. Морфология поверхности и поперечные сколы анодных оксидных структур изучались с помощью растровых электронных микроскопов (РЭМ). Схематическое изображение и поперечный скол нанопористого алюминия представлены на рисунке 1.

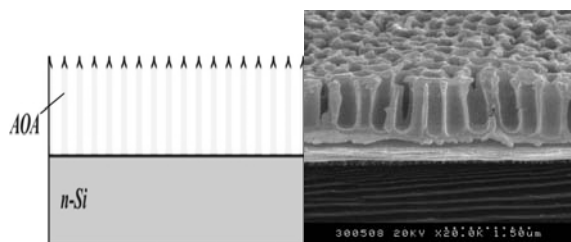


Рисунок 1 – Схематическое изображение и поперечный скол матрицы анодного оксида алюминия

Нанесение пленок $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$ осуществлялось на вакуумной установке, оснащенной безмасляной системой откачки на базе турбомолекулярного насоса. Для того чтобы изготовить мишени состава $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$ использовалась мелкозернистая шихта с субмикронными размерами зерен исходной шихты (~ 200 нм). После помола на поверхности зёрен образовывался аморфный слой, аккумулирующий энергию в виде внутренних дефектов и ускоряющий химические процессы при спекании порошков. Для синтеза мишеней были использованы предварительно синтезированные сложные оксиды SrMoO_3 и $\text{SrFeO}_{2,8}$. Выбор в качестве исходных реагентов прекурсоров SrMoO_3 и $\text{SrFeO}_{2,8}$ был обусловлен анализом полученных результатов по изучению последовательности фазовых превращений при кристаллизации $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$. Подложки с модифицированными матрицами АОА устанавливались на держателе карусельного типа на расстоянии 100 мм от поверхности мишени, после чего камера откачивалась до остаточного давления 10^{-3} Па. Для отжига пленок в различных температурных режимах в процессе их напыления держатель подогревался. Температура подложек ($T_{\text{п}}$) контролировалась с помощью термопары, расположенной под металлическим подложкодержателем. Распыление мишени $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$ диаметром 50 мм и толщиной 4 мм осуществлялось ионами аргона с энергией 1800-2400 эВ при токе 30 мА. Оптимальная скорость напыления составляла $v_{\text{п}} = 7-9$ нм/мин при $T_{\text{п}} = 923$ К. С целью исключения вкраплений фазы SrMoO_4 и уменьшения концентрации антиструктурных дефектов проводился дополнительный отжиг пленок в вакуумированных кварцевых ампулах в присутствии гетера Fe, при 1123 К и $p_{\text{O}_2} = 10^{-8}$ Па в течение 1 часа. Таким образом, на поверхности образцов были нанесены пленки $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$ толщинами 100 нм, 300 нм и 500 нм. Микроструктура поверхности и поперечного сечения нанопористого алюминия с напыленными слоями SFMO различной толщины представлены на рисунке 2.

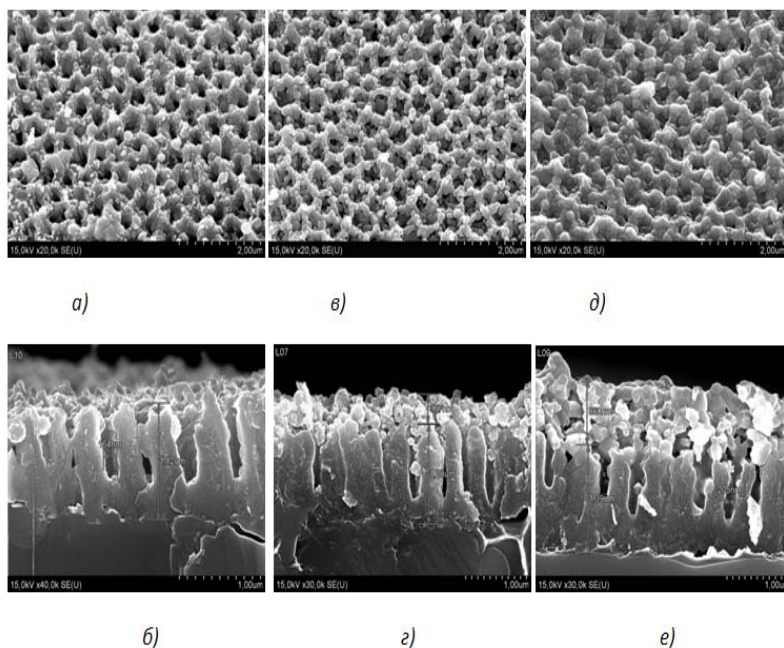


Рисунок 2 – Микроструктура поверхности и поперечного сечения нанопористого алюминия с напыленными слоями SFMO толщиной 100 нм (а, б), 300 нм (в, г) и 500 нм (д, е), соответственно

Для получения требуемых структур со столбиковыми наноструктурами SFMO в порах слоя анодного оксида алюминия была эффективно применена технология ионного ассистирования (рис. 3). Ее использование позволило удалить излишки SFMO с поверхности образцов. Данный факт был подтверждён рентгеноспектральным микроанализом образцов, проводившихся с использованием энергодисперсионного SiLi – полупроводникового детектора фирмы «Röntec».

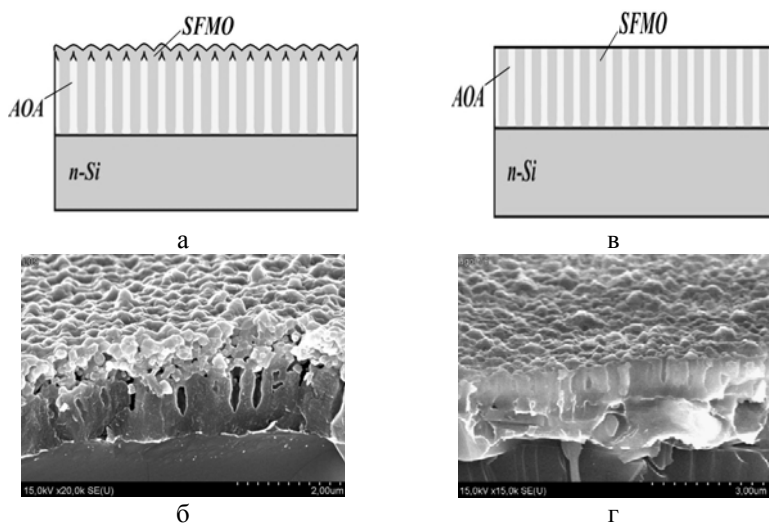


Рисунок 3 – Структура нанопористого оксида алюминия с SFMO до (а, б) и после (в, г) проведения ионного ассистирования

Список литературы

1. C.J. Yuan, Y. Zyu, et al., Solid State Communications 129, 551 (2004).
2. T. Fix, A. Barla, et al., Chemical Physics Letters 434, 276 (2007).
3. A. Pena, J. Gutierrez, L.M. Rodriguez-Martinez, [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials 254–255, 586 (2003)
4. Каланда, Н.А. Физика низких температур / Н.А. Каланда, С.Е. Демьянов, Л.В. Ковалев. – 2011. – № 37, 1057.

Acquisition and investigations of composite nanostructures comprising strontium ferromolybdate deposited in pores of anodic aluminium oxide modified matrices are considered in the present work.

Литвиновская Антонина Константиновна, студентка приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь, tosy@inbox.ru.

Петров Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь, petrov@physics.by.

Каланда Николай Александрович, магистрант НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь, kalanda@physics.by.

Горох Геннадий Георгиевич, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, gorokh@bsuir.by.

Научный руководитель – *Петров Александр Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент, НППЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь, petrov@physics.by.

УДК 678.8

В.Н. Лохман

ТЕХНОЛОГИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ И ОЛИГОМЕРНЫХ МАТРИЦ

В данной работе исследовано влияние модификатора УПТФЭ «Форум» на свойства полимерного композиционного материала на основе политетрафторэтилена, наполненного углеродным волокном. Основной задачей работы является разработка новых ПКМ с оптимальными служебными характеристиками и определение влияния модификатора на физико-механические и триботехнические характеристики композитов.

Для создания надёжной современной техники требуется разработка высокоэффективных износостойких материалов для обеспечения надёжной и долговечной работы узлов трения механизмов, эксплуатируемых в широком диапазоне нагрузок, скоростей, температур и работоспособных в агрессивных средах, при переходных режимах и в вакууме. В связи с этим, развитие исследований по созданию новых материалов с максимально улучшенным комплексом служебных характеристик, а также разработка новых способов получения таких материалов являются актуальными [1].

Использование композитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) в узлах трения повышает надёжность и долговечность механизмов, обеспечивает стабильную эксплуатацию в условиях агрессивных сред, глубокого вакуума и при криогенных температурах.

Одним из решений данной проблемы является также замена традиционных полимерных композитов на наноматериалы, содержащие в своем составе наноконпоненты с различными механизмами действия на полимерную матрицу, обуславливающие приспособляемость материалов к внешним воздействиям и обеспечивающие оптимальные служебные характеристики [2,3].

Фторопласт-4 (Ф-4) – это кристаллический полимер, с температурой плавления кристаллитов 327°C и температурой стеклования аморфных участков от -100 до 120°C . Даже при температуре выше температуры разложения (415°C) Ф-4 не переходит в вязкотекучее состояние, поэтому переработка его возможна только методом спекания отпрессованных таблеток [3].

Несмотря на свои выдающиеся свойства ненаполненный фторопласт часто не отвечает необходимым требованиям для ряда областей его применения, поэтому в его состав вводят различные наполнители.

В качестве объектов исследования выбраны Флувис-20 и композиции на его основе, содержащие в качестве модификатора УПТФЭ «Форум» от 0,1 до 5 масс. %.

Образцы для испытаний готовили по общепринятой технологии методом прессования и последующего спекания.

Для оценки влияния модификатора на физико-механические и триботехнические характеристики композитов определяли показатели прочности при разрыве, плотности и износостойкости.

По результатам физико-механических испытаний следует, что максимальные прочностные характеристики наблюдаются при концентрациях УПТФЭ «Форум» 1 и 0,1 % соответственно.

Из результатов триботехнических испытаний следует, при введении модификаторов износ меняется нелинейно. Максимальный износ наблюдается у композита 0,1 мас. % «Форум», минимальный износ при содержании 1 мас. % «Форум» в композите.

Анализируя результаты проведенных исследований делаем вывод, что наиболее оптимальные показатели физико-механических триботехнических характеристик имеет нанокпозиционный материал, модифицированный УПТФЭ «Форум» в количестве 1 мас. %.

Список литературы

1. Логинов, Б.А.. Удивительный мир фторполимеров. / Б.А. Логинов. – 2-е изд., доп. – М., 2009. – 168 с.
2. Паншин, Ю.А. Фторопласты / Ю.А. Паншин, С.Г. Малкевич, Ц.С. Дунаевская. – Л.: Химия, 1978. – 232 с.

3. Фторопласт-4/PTFE и известные композиции фторопласта-4. Свойства. Описание. ГОСТ10007-80[Электронный ресурс] / Инженерный справочник. – Режим доступа: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMaterials/SealsAndHermetics/Sealsforoplast4/ftoroplast4/>. – Дата доступа: 28.04.2011.

In this paper it was studied the effect of the modifier UPTFE «Forum» on features of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene filled with carbon fiber. The main objective is to develop a new PCM with optimal service characteristics and determining of the effect of modifier on the physical, mechanical and tribological characteristics of composite materials.

Лохман Виталий Николаевич, студент 5 курса Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, hipnotizez@mail.ru.

Научный руководитель – *Овчинников Евгений Витальевич*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана по научной работе, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. ovchin_1967@mail.ru.

УДК 539.21

В.А. Люшкевич, В.И. Шиманский

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ *

В работе показана возможность формирования поверхностного слоя биосовместимого сплава никелида титана (TiNi) с помощью компрессионных плазменных потоков.

Компрессионные плазменные потоки (КПП) представляют собой особый вид концентрированных потоков энергии, характеризующийся относительно высокой длительностью существования (около 100 мкс), что позволяет эффективно модифицировать структуру и свойства приповерхностных слоев материалов.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта № Ф11М-068 БРФФИ.

Последние эксперименты [1] показали перспективность комбинированного способа обработки, заключающегося в предварительном нанесении на подложку металлического покрытия и последующем воздействии КПП. В этом случае реализуются условия, позволяющие осуществить жидкофазное легирование глубокого (до 20 мкм) поверхностного слоя обрабатываемого материала, и тем самым сформировать сплавы заданного состава. Особый интерес представляет использование таких плазменных потоков с целью формирования поверхностного слоя никелида титана (TiNi), востребованного в области биоматериаловедения и обладающего эффектом памяти формы.

В связи с этим целью данной работы являлось установление фазового состава титана, легированного никелем под воздействием КПП, а также выявление возможности формирования поверхностного слоя никелида титана при данном типе обработки.

Объектом исследования стали образцы сплава титана BT1-0, на которые было нанесено гальваническим методом покрытие никеля толщиной 3-4 мкм. Полученная система никель-титан подвергалась воздействию 5 импульсами КПП с плотностью поглощенной энергии от 5 до 13 Дж/см² за импульс. Фазовый состав сформированных систем исследовался с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-4 с использованием медного излучения ($\lambda = 0,154178$ нм). Элементный состав легированных слоев определялся методом рентгеноспектрального микроанализа на установке Rontec. Механические свойства модифицированных слоев титана исследовались на основе определения микротвердости по методу Виккерса на микротвердомере MVD 402.

При воздействии КПП на систему никель-титан происходит нагрев покрытия и части подложки выше их температуры плавления. В результате гидродинамического перемешивания расплава достигается проникновение атомов легирующих элементов на глубину расплавленного слоя [2]. В этом случае происходит снижение концентрации никеля в поверхностном слое при увеличении плотности поглощенной энергии.

Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что в поверхностном слое происходит формирование никелида титана,

дифракционные максимумы которого наблюдаются при углах дифракции $2\theta = 42,8$ и $61,8$ градуса. Установлено, что его максимальное содержание наблюдается при воздействии КПП с плотностью поглощенной энергии 9 Дж/см^2 (рисунок 1).

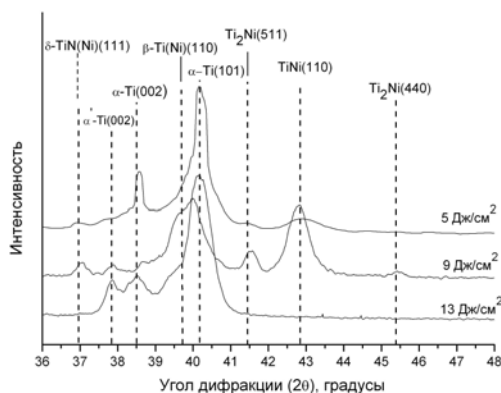


Рисунок 1 – Рентгенограммы образцов титана после обработки 5 импульсами КПП

При уменьшении плотности поглощенной энергии до 5 Дж/см^2 содержание TiNi в анализируемом слое уменьшается, о чем свидетельствует снижение отношения интенсивностей дифракционных линий интерметаллида TiNi и $\alpha\text{-Ti}$. При увеличении плотности поглощенной энергии до 13 Дж/см^2 формирование никелида титана не происходит вследствие того, что при данном режиме воздействия концентрация никеля в модифицированном слое уменьшается за счет увеличения глубины расплава и не достигает 33 ат.%, необходимого для образования интерметаллида TiNi . Также в исследуемых образцах выявлено образование твердого раствора замещения $\beta\text{-Ti(Ni)}$, приводящее к стабилизации высокотемпературной фазы титана при комнатной температуре. Наряду с этим, в системе обнаружено формирования интерметаллида Ti_2Ni при плотности поглощенной

энергии $5-9 \text{ Дж/см}^2$. Образование твердого раствора и отмеченных интерметаллидов приводит к упрочнению модифицированного слоя в 1,5-2 раза по сравнению с исходным (нелегированным) образцом (рисунок 2). Увеличение твердости до 6 ГПа на глубине 1,0-1,5 мкм может быть связано с образованием поверхностного нитрида $\delta\text{-TiN}_x(\text{Ni})$ в силу того, что генерация КПП производилась в атмосфере азота.

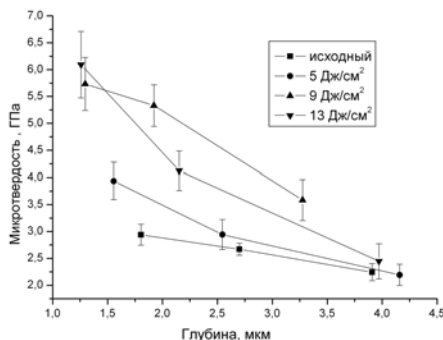


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости поверхностного слоя титана, легированного никелем при воздействии КПП, от глубины индентирования

Упрочнение на большей глубине обусловлено твердорастворным и дисперсионным механизмами за счет образования твердого раствора $\beta\text{-Ti}(\text{Ni})$ и выделений интерметаллидов TiNi и Ti_2Ni соответственно. Также увеличение микротвердости поверхностного слоя связано с формированием мелкокристаллической структуры, образующейся в результате сверхскоростного охлаждения расплава.

Таким образом, воздействие компрессионных плазменных потоков на систему никель-титан приводит к легированию поверхностного слоя титана никелем и формированию никелида титана, происходящее при плотности поглощенной энергии до 9 Дж/см^2 , а также стабилизации высокотемпературной фазы титана $\beta\text{-Ti}$ и образованию интерметаллида Ti_2Ni .

Список литературы

1. Углов, В.В. Фазообразование и структурные изменения в системе хром-кремний, обработанной компрессионными плазменными потоками / В.В. Углов [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2010 – № 4. – С. 79-83.
2. Углов, В.В. Влияние концентрации титана на структурно- фазовое состояние поверхностного слоя углеродистой стали, легированной под действием компрессионных плазменных потоков / В.В. Углов // Перспективные материалы. – 2009 – № 3. – С. 69-73.

In this work the possibility of biocompatibility TiNi surface alloy formation by means of compression plasma flows was shown.

Люшкевич Вероника Александровна, студентка 5 курса Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Шиманский Виталий Игоревич, аспирант 2 года обучения кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Uglov@bsu.by.

УДК 678

Ж.А. Ляшевич, Ю.С. Навроцкая

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ АВТОКОМПОНЕНТОВ

В работе отражены технологические особенности получения из гранулированных полуфабрикатов полимерных материалов дисперсных частиц, предназначенных для формирования функциональных покрытий на поверхностях металлических субстратов.

Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения эффективности работы деталей машин и механизмов является, в том числе, нанесение на рабочую поверхность изделий различных по природе функциональных покрытий. Полимерные покрытия различного состава наносят на детали узлов машин и

механизмов для обеспечения заданных функций – снижение износа, уменьшение коэффициента трения, обеспечение необходимых изоляционных параметров, повышение коррозионной стойкости. В качестве матрицы используют полимерные составы на основе термопластов и реактопластов. Среди них наиболее востребованными, с точки зрения экономических и технологических показателей, являются полиамиды, полиацетали, полиолефины, полиуретаны и др. термопластичные и термозластопластичные матрицы. Для обеспечения заданных функциональных характеристик покрытий в состав полимерных матриц вводят наполнители и модификаторы: порошки оксидов, металлов, сухих смазок и другие компоненты [1-5].

В зависимости от агрегатного состояния полимера, использующегося при формировании покрытия, все методы условно разделяют на методы получения покрытий из полимерных дисперсных частиц различной формы, методы получения покрытий из полимерных суспензий, методы осаждения покрытий из газовой фазы [5].

Ввиду своей доступности и относительной простоты получения, широкое распространение получили термопластичные материалы, одной из областей использования которых является применение их в качестве функциональных покрытий. Однако основные технологии формирования полимерных покрытий предусматривают использование термопластичных материалов в виде дисперсных частиц с размером менее 200 мкм. Это, например, технологии электростатического осаждения с последующим оплавлением, технологии формирования покрытий из псевдооживленного слоя, методом газопламенного нанесения и др. [2,3].

С учётом того, что в большинстве своём термопластичные материалы (ПА, ПП, ПЭ и др.) выпускаются в виде гранулированного материала с размером гранул 2-3 мм, требуется технология управляемого перевода гранулированного полимерного полуфабриката в дисперсную порошкообразную фракцию с контролируемыми размерными параметрами.

Наиболее перспективным связующим для композиционных триботехнических покрытий являются полиамиды (ПА 6 и ПА 11) [3, 4].

Они обладают оптимальным сочетанием физико-химических и теплофизических характеристик. Полиамид 6 является продуктом отечественной химической промышленности, выпускаемым на ОАО «ГродноАзот», в условиях массового производства. Себестоимость ПА 6 гранулированного (марки 210/310 низковязкий) по сравнению с импортным аналогом – полиамидом 11 (торговая марка «Rilsan») существенно ниже (в 10 раз), однако ПА 11 – продукт химического синтеза и выпускается в порошкообразном виде (фракция 80-200 мкм). Учитывая то, что ПА 6 существенно превосходит ПА 11 («Rilsan») по теплостойкости и прочности, он является конкурентоспособным материалом для композиционных покрытий.

В работе предложено использование технологии криогенного измельчения гранулята ПА 6 до порошкообразной фракции, близкой по дисперсности к фракции синтезируемого ПА 11 (80-200 мкм). Отработаны режимы измельчения гранулированных материалов на установке криогенного помола в НИЛ «Уникард» на ОАО «Белкард». Принцип действия данной установки заключается в следующем: охлажденный до стеклообразного состояния полимерный гранулят с помощью шнекового механизма подается в рабочую зону, где вращаются за счет электропривода со скоростью около 2000 об/мин навстречу друг другу ножи, имеющие специальную конструкцию режущих кромок. При столь высоких скоростях вращения гранулированная частица полимерного материала подвергается многократным ударным и истирающим воздействиям, в результате которых за счет центробежных сил переносится к периферии измельчающего устройства и уносится в накопительный бункер. Последующей стадией получения целевого продукта является его рассев по фракциям. Разделение на фракции порошкообразных продуктов осуществляли методом виброситового отсева на стационарном оборудовании в течение равных временных интервалов, которые составляли не более 10 минут.

На рисунке 1 представлен результат фракционного отсева порошкообразной фракции, полученный на установке криогенного помола, в соответствии с вышеприведенным режимом работы.

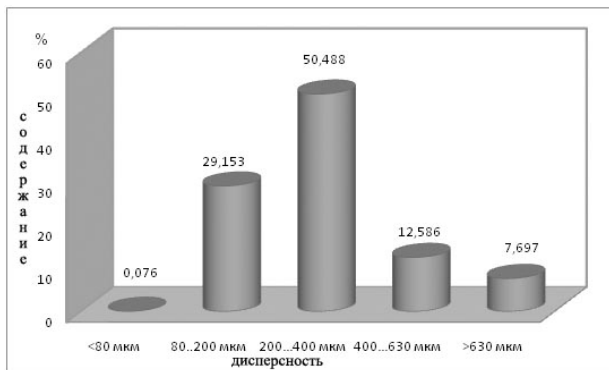


Рисунок 1 – Фракционный состав порошкообразных частиц ПА 6, полученных в результате криогенного измельчения гранулированного материала

Из приведённых данных следует, что при криогенном помоле из гранулята ПА 6 около 50% составляет фракция 200...400 мкм, 29% – фракция 80...200 мкм, а суммарное количество фракции, превышающих 400 мкм и менее 80 мкм, составляет около 20%.

Необходимо отметить, что для производственного цикла ОАО «Белкард» целевой фракцией является фракция 80...200 мкм. В связи с этим рекомендуется внести следующие изменения в условия работы линии криогенного помола: увеличить число оборотов; уменьшить количественную подачу гранулята в зону дробления; увеличить концентрацию хладагента для более глубокого охлаждения.

Получение по предложенной технологии отечественного порошкообразного продукта на основе ПА 6 позволит отказаться от использования импортного дорогостоящего материала «Rilsan», т.к. стоимость целевой фракции дисперсного порошка ПА-6 в 4-6 раз ниже стоимости порошка на основе ПА 11.

В ходе работы даны рекомендации по режимам измельчения, выбраны оптимальные параметры вольт-амперных характеристик и дозировка гранулированного продукта и хладагента (жидкого азота) при использовании измельчающего оборудования.

Необходимо отметить, что получаемые по предлагаемой технологии криогенного измельчения составы на основе дисперсных частиц ПА-6 могут быть применены в качестве функциональных материалов для покрытий автокомпонентов.

Список литературы

1. Довгяло, В.А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров / В.А. Довгяло, О.Р. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1992.
2. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Минск: Тэхналогія, 2006.
3. Кравченко, В.И. Композиционные материалы для антифрикционных покрытий шлицевых соединений карданных передач / В.И. Кравченко [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 6. – № 1. – С. 31–39.
4. Кравченко, В.И. Структура и технология композиционных материалов для конструкций карданных передач серии «Белкард-2000»: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01/ В.И. Кравченко. – Гродно, 2001. – 140 с.
5. Струк, В.А. Материаловедение: учебник / В.А. Струк [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 519 с.

This paper reflects the technological features of the receipt of the semi-granular polymer dispersed particles that are intended for the formation of functional coatings on the surfaces of metal substrates.

Ляшевич Жанна Анатольевна, студентка факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, lyashevich_zhanka@mail.ru.

Навроцкая Юлия Сергеевна, студентка факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, navrockaya_jul@tut.by.

Научный руководитель – *Воронцов Александр Сергеевич*, преподаватель, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, difender@tut.by.

УДК 678

Ю.С. Навроцкая, Ж.А. Ляшевич

СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ КАРДАНЫХ ВАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА 6, МОДИФИЦИРОВАННОГО ФТОРКОМПОНЕНТАМИ

В работе отражены результаты объёмного модифицирования порошкообразных составов на основе полиамида 6 дисперсными синтетическими фторкомпонентами, оказывающие влияние на функциональные характеристики формируемых триботехнических покрытий.

Наноструктурированные синтетические материалы обладают перечнем параметров, несвойственных традиционным природным материалам. Уменьшение размера частиц функциональных наполнителей может приводить к существенному изменению служебных характеристик композиционных материалов. Установлено, что эти изменения проявляются, когда средний размер частиц не превышает 100 нм, а наиболее эффективны при размере частиц менее 10 нм [1-5]. При этом частицы могут иметь сферическую (равноразмерную) форму, быть вытянутыми в виде нанопроволоки или нановолокна или представлять собой наночешуйки (пластинки). Наноструктурированные объекты отличаются увеличенным эксплуатационный ресурс по различным функциональным признакам. Так, известны материалы, обладающие повышенными параметрами абразивостойкости, износостойкости, коррозионной стойкости, материалы, снижающие коэффициент трения до значения 0,01-0,05, уменьшающие износ пар трения в десятки раз за счёт присутствия в традиционных материалах. Одним из ключевых параметров для функциональных дисперсных наполнителей является размер частиц.

В последнее время широкое применение получил как в качестве наполнителя, так и в качестве промышленно используемого материал, получаемый из продуктов термогазодинамического синтеза (ТГД-синтеза) политетрафторэтилена, называемый ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) [2-4].

Модифицирование состава полиамида 6 осуществляли методом объёмного модифицирования матричного порошкообразного полимера за счёт вибровихревого перемешивания. Причём объёмное модифицирование составов осуществлялось допинговым количеством наполнителя УПТФЭ – до 2 масс. %.

Сформированные покрытия исследовали методом атомно-силовой микроскопии на атомно-силовом комплексе Нанотоп NT-206. Дана оценка геометрических характеристик, в частности, шероховатости покрытий, которые в свою очередь наносили методом флюидизации из составов порошкообразных композиций до модифицирования ультрадисперсными частицами УПТФЭ и после.

Характерный вид покрытий на основе модифицированных полиамидных композиций представлен на рисунке 1.

Благодаря распределению частиц УПТФЭ в объёме полиамидного порошка при формировании покрытий на деталях триботехнического назначения в покрытиях появляются наноструктурированные области,

которые имеют коэффициент трения в 1,5-2 раза более низкий, чем для покрытий ПА 6 без модификатора УПТФЭ.

При модифицировании ПА 6 ультрадисперсными частицами УПТФЭ (дисперсностью <50 мкм) в объёме до 1 мас. % наблюдается сглаживание рельефа поверхности и снижение параметра шероховатости в 1,5-2 раза, с $R_a = 96,9 - 76,8$ нм до 45,6-52,6 нм (рисунок 1а, в, д).

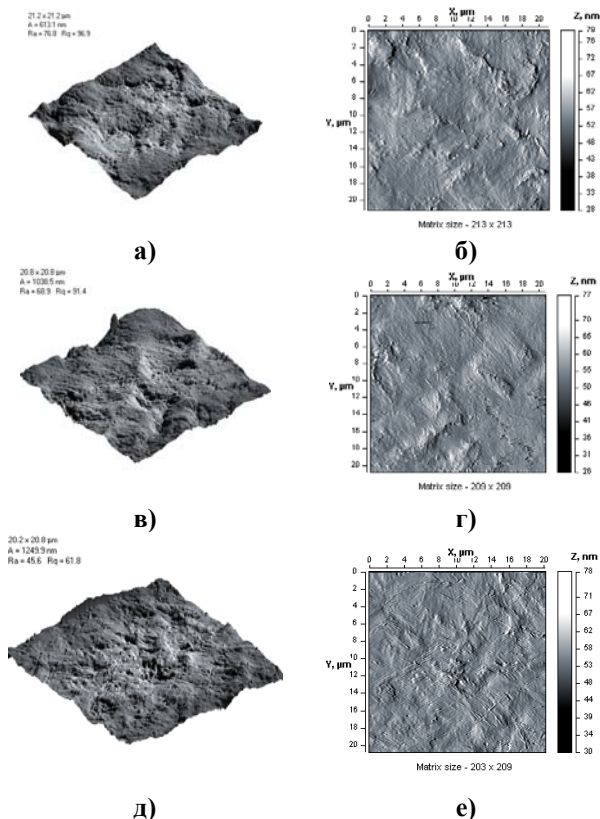


Рисунок 1 – Характерный вид покрытий на основе порошкообразного состава ПА 6 (а,б) и объёмномодифицированных 0,5 мас. % (в, г) и 1 мас. % (д,е) УПТФЭ композиций. Изображение АСМ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при формировании композиционного покрытия на основе ПА 6 функциональный модификатор УПТФЭ может выступать как компонент, улучшающий растекаемость расплава по поверхности субстрата за счёт собственного низкого коэффициента трения.

Таким образом, можно утверждать, что при объёмном модифицировании порошкообразных составов на основе ПА 6 ультрадисперсными частицами ПТФЭ в количестве до 1 мас.% уменьшается параметр шероховатости для покрытий на основе ПА 6 в 1,5-2 раза. Кроме того, в ходе работы были получены новые данные об особенностях состава, структуры и морфологии частиц УПТФЭ, которые позволяют расширить спектр их применения в машиностроении. Разработаны композиции и технология формирования триботехнических полимерных покрытий для автоагрегатов на основе алифатических полиамидов, модифицированных наноразмерными полимер-олигомерными частицами.

Разработанные составы композиционных материалов могут применяться в качестве триботехнических отечественных композиций (взамен французского аналога под торговой маркой «Rilsan») для изготовления антифрикционных покрытий, наносимых на шлицевые втулки карданных валов наземного транспорта.

Список литературы

1. Бузник, В.М. Металлополимерные нанокомпозиты (получение, свойства, применение) / В.М. Бузник, В.М. Фомин, А.П. Алхимов [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 260 с.
2. Кравченко, В.И. Композиционные материалы для антифрикционных покрытий шлицевых соединений карданных передач / В.И. Кравченко [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 6. – № 1. – С. 31–39.
3. Струк, В.А. Нанокомпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения / В.А. Струк [и др.]; ГрГУ им. Я. Купалы; под ред. В.А. Струка. – Гродно, 2006. – 403 с.
4. Охлопкова, А.А. Пластики, наполненные ультрадисперсными неорганическими соединениями / А.А. Охлопкова, А.В. Виноградов, Л.С. Пинчук. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 164 с.
5. Ахмадиева, Л.В. Композиционные материалы на основе совмещенных матриц для защитных покрытий / Л.В. Ахмадиева [и др.]; под науч. ред. В.А. Струка. – Гродно : ГГАУ, 2009. – 532 с.

In this paper presents the results of modifying the volume of powder compositions based on polyamide 6 dispersed by synthetic fluorocomponents affecting the functional characteristics of the formed of tribotechnical coatings.

Навроцкая Юлия Сергеевна, студентка факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, navrockaya_jul@tut.by.

Ляшевич Жанна Анатольевна, студентка факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, lyashevich_zhanka@mail.ru;

Научный руководитель – *Воронцов Александр Сергеевич*, преподаватель, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, difender@tut.by.

УДК 677.4

Н.Н. Папроцкая, А.С. Антонов

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКИХ И МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе представлены рекомендации по оптимизации конструкторских и материаловедческих решений для деталей оборудования химического производства на примере нитераскладочного механизма перемоточной машины DS-10. В результате производственных испытаний установлено, что предложенные оптимизационные решения позволяют увеличить технический ресурс деталей оборудования в два раза.

Химическая промышленность, наряду с машиностроением, является самой динамично развивающейся отраслью современной индустрии Республики Беларусь, создающей инновационную экспортоориентированную и импортозамещающую продукцию. Современное развитие химической промышленности идет по пути увеличения масштабов производства, совершенствования технического оснащения существующих предприятий, возникновения новых технологических процессов. Основной проблемой, с которой сталкивается современная химическая промышленность, является обеспечение стабильно высокого качества конечного продукта в типовом производственном процессе. Принимая во внимание

увеличивающуюся глобальную конкуренцию и быстро меняющиеся потребности рынка, эффективный контроль процессов и различных физических параметров при производстве в реальном времени становится насущной потребностью большинства предприятий химической промышленности [1, 2].

Благодаря интенсивному развитию химической науки, в первую очередь в области переработки полимерных материалов, в Республике Беларусь наблюдается широкое внедрение результатов научных исследований и инновационных прорывных разработок в машиностроение и другие отрасли народного хозяйства.

Так, ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот» является крупным производителем полиамидных и полиэфирных нитей и волокон, а также полиамида 6 (ПА-6) и полимерных композиционных материалов на его основе. Каждый из основных видов продукции производится в широком ассортименте с различными физико-механическими свойствами и показателями качества в зависимости от области применения. Для получения качественной и конкурентоспособной продукции необходимо использовать оборудование, отвечающее всем требованиям современного химического производства. С целью обеспечения бесперебойной работы оборудования требуется увеличение срока службы и надежности отдельных деталей и узлов, подвергающиеся наиболее интенсивному износу [3].

Поэтому для оборудования современной химической промышленности актуальна проблема применения системного подхода при оптимизации деталей химического оборудования. В связи с чем целью данной работы являлась оптимизация конструкторских и материаловедческих решений для деталей оборудования химического производства.

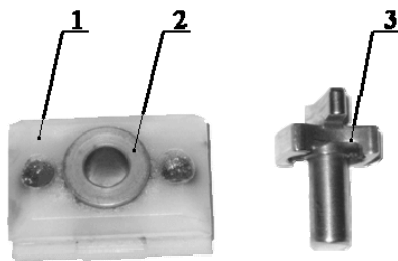
В качестве объекта оптимизации использовали детали узла нитераскладочного механизма перемоточной машины DS-10 немецкой фирмы Dietze & Schell Maschinenfabrik GmbH & Co. KG. Втулка и поводок данного механизма выполнены из стали 40, каретка – из ПА-6 (торговая марка – капролон). При оптимизации деталей нитераскладочного механизма применяли системный подход, учитывающий комплексное сочетание конструкторско-технологических

и материаловедческих решений с экономическими особенностями развития рынка химического оборудования.

Одним из основных технологических процессов в текстильных цехах предприятий химических волокон является перемотка. Процесс перемотки нити предназначен для придания сформированным нитям комплекса полезных свойств, обеспечивающих их успешную дальнейшую переработку, и сообщения этим изделиям высоких эксплуатационных показателей. Для перемотки нитей применяют пермоточные машины разных типов и конструкций.

Производство полиамидной нити осуществляется способом формования из расплава гранулята ПА-6 на однопроцессных установках совмещенного формования, вытягивания и намотки.

Создание нового оборудования для промышленности химических волокон сопряжено с разработкой высокоскоростных и вместе с тем надежных в работе нитераскладочных механизмов. Наиболее часто выходящими из строя деталями данных механизмов являются каретка с втулкой и поводок (рисунок 1). Выход из строя этих деталей, в свою очередь, приводит в негодность более дорогостоящую деталь оборудования – кулачок (по которой передвигается поводок с роликом и каретка). Простой оборудования по причине износа какой-либо детали недопустим. Качество выпускаемой продукции также не должно страдать из-за неполадок в работе оборудования.



1 – каретка, 2 – втулка, 3 – поводок

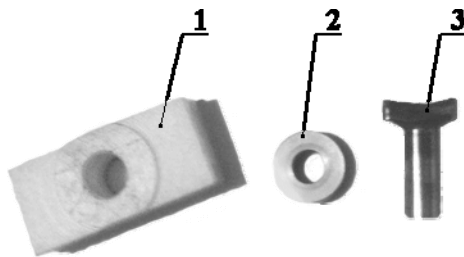
Рисунок 1 – Детали узла нитераскладочного механизма до оптимизации

При трехсменной работе оборудования (DS-10) под действием высоких скоростей в металлах и сплавах деталей возникает напряженно-деформационное состояние, характеризующееся

распределением механических напряжений, что приводит к быстрому износу некоторых деталей данного оборудования. При возрастании механических нагрузок напряженно-деформированное состояние металлического материала изменяется следующим образом: вначале происходит пластическая деформация, а при превышении определенного порога напряжений наступает разрушение материала или его частичный износ.

Пластическая деформация монокристаллов металла связана с необратимыми смещениями атомов в его кристаллической решетке, в результате которых части кристалла сдвигаются относительно друг друга (скольжение) или перестраиваются в кристаллическую структуру, зеркально симметричную относительно неискаженной части [1, 4].

С целью повышения износостойкости основных деталей узла нитераскладочного механизма перемоточной машины DS-10 заменим материал поводка на сталь X12МФ, изменив при этом конструкцию данного узла (рисунок 2). В данной конструкции основную ударную нагрузку при движении кулачка будет воспринимать ролик 2, выполненный из той же стали, что и поводок.



1 – каретка, 2 – ролик, 3 – поводок

Рисунок 2 – Детали узла нитераскладочного механизма после оптимизации

Следующим этапом исследований было проведение производственных испытаний на износостойкость. Испытания проводили при следующих режимах: скорость мотки – 1200 м/мин, частота вращения веретён – 2500 об/мин, время работы оборудования – 24 ч/сутки. Результаты испытаний показали, что срок службы деталей оптимизированной конструкции нитераскладочного механизма увеличился в 2 раза (рисунок 3).

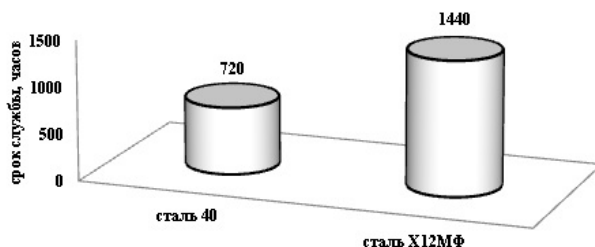


Рисунок 3 – Результаты производственных испытаний

Таким образом, применение системного подхода при оптимизации конструкторских и материаловедческих решений деталей химического оборудования позволяет повысить технический ресурс и надежность как отдельно взятых деталей, так и всего оборудования в целом, обеспечив при этом бесперебойность его работы и снизив экономические затраты на производство полиамидных нитей и волокон.

Список литературы

1. Усенко, В.А. Оборудование для переработки химических волокон и нитей: учебное пособие / В.А. Усенко, Н.В. Шахова, В.А. Родионов [и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1977. – 368 с.
2. Рязов, А.Н. Технология производства химических волокон: учебник для техникумов / А.Н. Рязов, В.А. Груздев, И.П. Бакшеев [и др.]. – М.: Химия, 1980. – 448 с.
3. Официальный сайт ОАО «Гродно Химволокно» [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://grodno-khim.by/> – Дата доступа: 16.01.2012.
4. Струк, В.А. Материаловедение: учебник / В.А. Струк [и др.]; под общ. ред. В.А. Струка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 519 с.

The article shows a systematic approach for optimization of materials science and engineering solutions for parts of chemical equipment. The proposed optimization solutions help increase the technological lifespan of equipment components twice.

Папроцкая Наталья Николаевна, студентка 6 курса заочной формы обучения факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Антонов Александр Сергеевич, преподаватель кафедры логистики и методов управления факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, antonov-69@tut.by.

Научный руководитель – *Антонов Александр Сергеевич*, преподаватель кафедры логистики и методов управления, факультет инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, antonov-69@tut.by.

УДК 667.637:666.9.017

Д.В. Петрошевич, А.Ю. Сорокин

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПО РАСТВОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Изучены физико-механические характеристики эпоксиперхлорвинилового покрытия, модифицированного наночастицами кремния. Установлено увеличение прочностных характеристик покрытий, модифицированных 2 мас.% кремния.

Тонкопленочные системы, формируемые из различных агрегатных состояний, нашли широкое применение в машиностроении в качестве защитных, антифрикционных, антиадгезионных покрытий и слоев. Наиболее распространенной при формировании полимерных покрытий является растворный метод, при котором на поверхности обрабатываемой детали или изделия покрытия формируются путем окунания в раствор, поливом, распылением (в том числе и в электростатическом поле) жидкого полимера. Одной из причин применения растворной технологии формирования полимерных покрытий является его простота. Однако, физико-механические характеристики, в частности, антифрикционные, существенно ниже, чем у покрытий, сформированных методом псевдооживленного нанесения полимерного материала. Для увеличения эксплуатационных характеристик полимерных покрытий, формируемых из раствора, применяют различного вида модификаторы.

Целью данной работы является изучение физико-механических характеристик эпоксиперхлорвинилового покрытия, модифицированного наночастицами кремния.

В качестве объекта исследований использовали эмали на базе эпоксидной и перхлорвиниловой смол, которые модифицировали кремнем в процентном содержании от 1 мас.% до 5 мас. %. Определение физико-механических характеристик сформированных

покрытий проводили методом динамического индентирования на установке ИПМ-1К производства ИПФ НАН Беларуси.

В ходе проведенных исследований установлено увеличение прочностных характеристик покрытий, модифицированных 2 мас.% кремня. Дальнейшее увеличение содержания модификатора не приводит к возрастанию прочности покрытия. Данный эффект обусловлен увеличением степени упорядоченности в структуре покрытия. Превышение содержания модификатора более 2 мас.% приводит к взаимодействию наночастиц кремня между собой и, как результат, к снижению модифицирующего эффекта в полимерной матрице.

The physical and mechanical characteristics of epoxy perchlorovinyl coating modified by nanophase particles of flint are studied. The increase in the strength characteristics of coatings modified with 2 wt.% of flint.

Петрошевич Дмитрий Владимирович, студент 5 курса Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Сорокин Артем Юрьевич, студент 2 курса Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Овчинников Евгений Витальевич*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана по научной работе, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. ovchin_1967@mail.ru.

УДК 616.71

А.И. Ровба

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ ПОЗВОНКОВ

На основе данных рентгенографии рассматривается кинематика движения тела позвонка в сагиттальной плоскости. Целью исследования является возможность определения центра вращения при движении сегментов шейного отдела позвоночника в приближении твердого тела.

По данным [1] пульпозное ядро является центром, вокруг которого происходят взаимные перемещения смежных позвонков. Однако, как показывают собственные исследования, их перемещения являются достаточно сложными даже при движении в одной плоскости. В случае

вращательного движения позвонка в сагиттальной плоскости он как твердое тело имеет три степени свободы: при двух поступательных движениях и одном вращательном (аналогично и для двух других плоскостей). При поступательных перемещениях неизбежна деформация межпозвонкового диска. При чисто вращательном движении позвонок может вращаться относительно некоторой мгновенной оси, при этом деформации межпозвонкового диска может не быть и позвонок должен без проскальзывания двигаться относительно диска. Однако это только гипотеза, которая требует более тщательного изучения поведения объема межпозвонкового диска при наклонах в сагиттальной и фронтальной плоскостях и ротации относительно вертикальной оси. Такой вид движения был бы оптимальным вариантом движения шейного отдела позвоночника: без деформации межпозвонкового диска. Кинематические особенности собственного метода позволяют рассчитать такое движение. Для этого измеряются координаты крайних точек тел позвонков, составляются полиномы 4-й степени и находятся коэффициенты при переменных величинах, которые позволяют оценить радиус кривизны при движении тела позвонка и локализовать центр его вращения.

Наибольший интерес для изучения представляют позвонки C2-C3 и C5-C6 (в сегменте C2-C3 практически никогда не наблюдается дистрофических изменений, а в сегменте C5-C6, наоборот, наиболее часто встречаются поражения того либо иного рода).

Для измеренных координат крайних точек позвонков C2-C3 и C5-C6 ($A1(X_{1.1}, Y_{1.1})$, $A2(X_{1.2}, Y_{1.2})$, $A1(X_{2.1}, Y_{2.1})$, $A2(X_{2.1}, Y_{2.1})$, $A1(X_{3.1}, Y_{3.1})$, $A2(X_{3.2}, Y_{3.2})$, $A1(X_{4.1}, Y_{4.1})$, $A2(X_{4.2}, Y_{4.2})$, $A1(X_{5.1}, Y_{5.1})$, $A2(X_{5.2}, Y_{5.2})$) на рентгенограммах были составлены уравнения:

$$\begin{cases} a \cdot x_{1.1}^4 + b \cdot x_{1.1}^3 + c \cdot x_{1.1}^2 + d \cdot x_{1.1} + p = y_{1.1} \\ a \cdot x_{2.1}^4 + b \cdot x_{2.1}^3 + c \cdot x_{2.1}^2 + d \cdot x_{2.1} + p = y_{2.1} \\ a \cdot x_{3.1}^4 + b \cdot x_{3.1}^3 + c \cdot x_{3.1}^2 + d \cdot x_{3.1} + p = y_{3.1} \\ a \cdot x_{4.1}^4 + b \cdot x_{4.1}^3 + c \cdot x_{4.1}^2 + d \cdot x_{4.1} + p = y_{4.1} \\ a \cdot x_{5.1}^4 + b \cdot x_{5.1}^3 + c \cdot x_{5.1}^2 + d \cdot x_{5.1} + p = y_{5.1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a \cdot x_{1,2}^4 + b \cdot x_{1,2}^3 + c \cdot x_{1,2}^2 + d \cdot x_{1,2} + p = y_{1,2} \\ a \cdot x_{2,2}^4 + b \cdot x_{2,2}^3 + c \cdot x_{2,2}^2 + d \cdot x_{2,2} + p = y_{2,2} \\ a \cdot x_{3,2}^4 + b \cdot x_{3,2}^3 + c \cdot x_{3,2}^2 + d \cdot x_{3,2} + p = y_{3,2} \\ a \cdot x_{4,2}^4 + b \cdot x_{4,2}^3 + c \cdot x_{4,2}^2 + d \cdot x_{4,2} + p = y_{4,2} \\ a \cdot x_{5,2}^4 + b \cdot x_{5,2}^3 + c \cdot x_{5,2}^2 + d \cdot x_{5,2} + p = y_{5,2} \end{cases}$$

Результаты решения данных уравнений представлены в таблице:

Таблица

| для точки А1 | a | b | c | d | p |
|--------------|--------|--------|----------|----------|------------|
| C2 | 0,006 | -0,392 | 6,604 | -45,039 | 107,123 |
| C3 | 0,006 | -0,017 | -4,209 | 76,225 | -369,519 |
| C5 | 0,000 | 0,755 | -28,686 | 366,887 | -1516,826 |
| C6 | -0,008 | 4,623 | -89,951 | 765,500 | -2374,554 |
| для точки А2 | a | b | c | d | p |
| C2 | -0,347 | 22,614 | -543,612 | 5739,519 | -22454,563 |
| C3 | 0,000 | 0,000 | -15,19 | 318,63 | -1852,47 |
| C5 | -0,122 | 7,851 | -183,875 | 1889,989 | -7170,352 |
| C6 | -0,040 | 2,726 | -65,907 | 692,842 | -2651,440 |

Список литературы

1. Жарков, П.Л. Остеохондроз и другие дистрофические изменения позвоночника у взрослых и детей / П.Л. Жарков. – М.: Медицина. – 1994. – 240 с.

On the basis of the data rentgenograthi the kinematics of movement of a body vertebra in sagittal planes is considered. The purpose of research is the opportunity of definition of the center of rotation at movement of segments of a cervical department of a backbone in approachof a firm body.

Ровба Анастасия Ивановна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Жарнов Александр Михайлович*, кандидат физико-технических наук, доцент, кафедра теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Минск, Беларусь.

УДК 621.793.18

Е.П. Роговский, А.А. Ясюнас

ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ АНОДА НА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КАТОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В МАГНЕТРОННОМ РАЗРЯДЕ

В данной работе описано движение электронов в магнетронном разряде для случая неоднородных магнитных и электрических полей, когда векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитной индукции \vec{B} образуют произвольный угол, что приводит к сложным видам траекторий электронов, трудно поддающихся аналитическому расчету. По этой причине приведен качественный анализ траекторий движения электронов.

Рассматривается случай сбалансированного планарного осесимметричного магнетрона с боковым кольцевым анодом и возникновения плазменного магнетронного разряда аномального тлеющего типа с катодным слоем положительного тлеющего заряда (толщиной $d \approx 2$ мм).

Расчет силовых линий магнитного и электрического полей (соответственно линии и стрелки на рисунках 1-3) производился в программном комплексе Comsol Multiphysics 4.2.

В случае, когда ларморовский радиус r_e вращения электронов значительно превышает толщину пространственного заряда, траектория движения электронов в тонком слое пространственного заряда представляют прямую, так как величина напряженности электрического поля \vec{E} на данном участке значительно больше, чем в слое отрицательного свечения. Так как в общем случае граница слоя пространственного заряда не горизонтальна, то на выходе из него электроны будут иметь вертикальную и горизонтальную компоненты скорости [1].

Рассмотрим случай расположения анода на расстоянии $l = 2$ мм от боковой части магнетрона (см. рисунок 1).

Электроны, эмитируемые катодом в центральной части (область 1), в которой силовые линии магнитного и электрического полей вертикальны и параллельны, будут двигаться по спирали, при этом шаг спирали увеличивается из-за увеличения продольной скорости $\vec{v}_{||}$ под действием электрического поля и продольного градиента магнитного

поля $\text{grad}\vec{B}_{\parallel}$. Уменьшение величины магнитной индукции \vec{B} приводит к увеличению радиуса спирали. Азимутальный дрейф в данной области отсутствует из-за осевой симметрии магнитного поля [1].

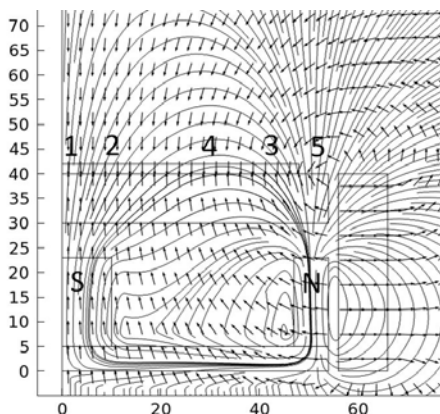


Рисунок 1 – Структура силовых линий магнитного и электрического полей при расположении анода вплотную к магнетрону

В областях 2 и 3, где силовые линии магнитного поля пересекают поверхность катода под острыми углами, под действием электрического поля слоя пространственного заряда электроны получают импульс вдоль силовых линий магнитного поля и продолжают движение по спирали, ось которой совпадает с силовой линией \vec{B} . Достигнув противоположного полюса магнитной системы электроны отражаются сильным магнитным полем под действием $\text{grad}\vec{B}_{\parallel}$ или электрическим полем катодного слоя. Таким образом, электроны осциллируют вдоль силовых линий магнитного поля [1]. Также возможен захват электронов катодом. При столкновении электрона с молекулами газа возможен его переход на более высокие траектории движения под действием поля \vec{E} . Средняя скорость электрона в направлении силы электрического поля
$$\vec{v}_{e,E} = -\frac{m\vec{E}}{eB^2\tau_e},$$
 где τ_e – среднее время между столкновениями электрона с молекулами газа [2]. Катодные электроны областей 2 и 3

будут подвержены азимутальному дрейфу под действием поперечного градиента магнитного поля $\text{grad}\vec{B}_\perp$ и центробежного эффекта из-за кривизны силовых линий. Направление скоростей градиентного и центробежного дрейфов $\vec{v}_{\text{др}}$ определяется произведением $[\vec{B}\text{grad}\vec{B}]$ и совпадает с направлением $[\vec{E}\vec{B}]$ дрейфа со скоростью $\vec{v}_{\text{ЕВ}} = \frac{[\vec{E}\vec{B}]}{B^2}$ [3].

Электроны, выходящие из мишени в области эрозии мишени (4), попадают в зону плазмы, где силовые линии \vec{B} параллельны поверхности мишени. Под действием магнитного поля электроны проходят участки окружности радиуса r_e и испытывая столкновения с молекулами газа движутся со скоростью $\vec{v}_{e.E}$. В результате ортогональности \vec{B} и \vec{E} , а также наличия $\text{grad}\vec{B}_\perp$ электроны совершают азимутальный дрейф. Направления $[\vec{B}\text{grad}\vec{B}]$ и $[\vec{E}\vec{B}]$ совпадают.

Траектории движения катодных электронов областей 1-4 при рассматриваемых модификациях анода не изменяются и далее не описываются.

Катодные электроны, эмитируемые на крае магнитной системы, будут двигаться по спирали с увеличивающимся шагом из-за влияния $\text{grad}\vec{B}_\perp$. Боковое расположение анода приводит к тому, что на периферии области разряда \vec{B} и \vec{E} составляют угол близкий к 90° . Благодаря этому усиливается азимутальный дрейф, т.к. направления дрейфов $[\vec{B}\text{grad}\vec{B}]$ и $[\vec{E}\vec{B}]$ совпадают. Градиентный дрейф вызван несимметричностью магнитного поля около внешнего магнитного полюса, что приводит к возникновению $\text{grad}\vec{B}_\perp$. При соударении с молекулами газа электронов возможен их переход на спиральные траектории в область более слабого магнитного поля с увеличением радиуса спирали.

В случае удаленного расположения кольцевого анода от магнетрона ($l = 2,6$ см) начительно увеличивается вероятность захвата им катодных электронов (рисунок 2).

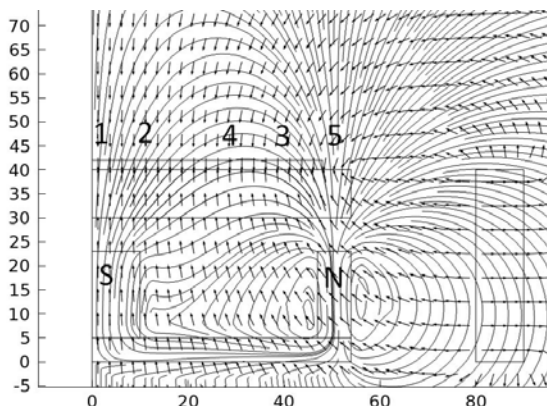


Рисунок 2 – Структура силовых линий магнитного и электрического полей при расположении анода на расстоянии $l = 2,6$ см от магнетрона

Это обусловлено замыканием силовых линий магнитного поля, а следовательно и спиральных траекторий электронов, на поверхность анода под малыми острыми углами. Также сильное уменьшение величины \vec{B} приводит к увеличению радиуса спирали и возрастанию скорости \vec{v}_{eE} , что делает возможным захват электронов, которые двигаются вдоль линий \vec{B} , не замыкающихся на аноде. Удаление анода приводит к уменьшению угла между \vec{B} и \vec{E} в области над внешним полюсом магнетрона, в результате чего компонента $[\vec{E}\vec{B}]$ азимутального дрейфа ослабевает.

Увеличения электронного тока анода можно добиться увеличением высоты поверхности анода над уровнем катода и расположением ее под косым углом (рисунок 3), при этом количество силовых линий \vec{B} , пресекающих поверхность анода увеличивается, а угол пересечения близок к 45° , что приводит к увеличению количества траекторий катодных электронов, пересекающих поверхность анода. Характер движения катодных электронов в данной модификации не изменяется.

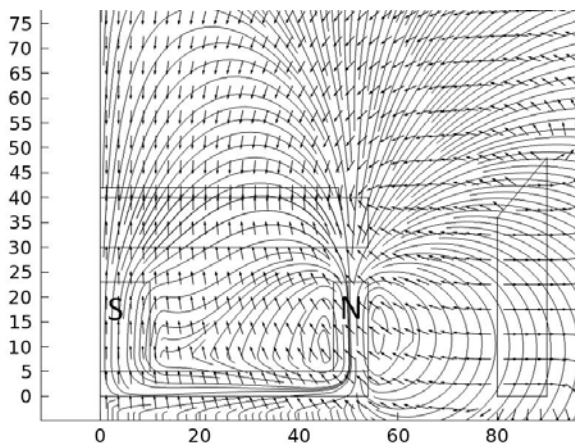


Рисунок 3 – Структура силовых линий магнитного и электрического полей при удаленном от магнетрона расположении анода с измененной формой поверхности

Список литературы

1. Кузьмичев, А.И. Магнетронные распылительные системы / А.И. Кузьмичев. – Киев: Аверс, 2008. – С. 102-108.
2. Голант, В.Е. Основы физики плазмы / В.Е. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. – М.: Атомиздат, 1997. – 281 с.
3. Чен, Ф. Введение в физику плазмы / Ф. Чен. – М., Мир. – 1987. – С. 52.

In this paper we have described the motion of cathodic electrons in inhomogeneous magnetic and electric fields of magnetron discharge for different types of anode.

Роговский Евгений Петрович, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, eugene.rogovsky@gmail.com.

Ясюнас Александр Алексеевич, аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, alex.yasunas@gmail.com.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, факультет радиотехники и электроники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, dm_a_kotov@mail.ru.

УДК 621.793

Д.А. Романов, А.Ю. Гагарин, Е.А. Будовских

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ $TiB_2 - Cu^*$

Методом электровзрывного напыления получены электроэрозионностойкие покрытия TiB_2-Cu . Изучена шероховатость и выявлены морфологические составляющие структуры их поверхности. Композиционные материалы системы $Ti-B-Cu$ обладают стойкостью к электрической эрозии на порядок более высокой по сравнению с контактной медью [1].

Для ряда практических применений, например, в случае упрочнения контактных поверхностей средне- и тяжелонагруженных выключателей и коммутационных аппаратов [2], может оказаться перспективным формирование на них покрытий, поскольку в этом случае важна электроэрозионная стойкость поверхности контакта, а не всего объема. В последние годы разрабатывается способ обработки поверхности многофазными плазменными струями продуктов электрического взрыва проводников, который позволяет либо осуществлять электровзрывное напыление (ЭВН) покрытий, либо проводить электровзрывное легирование (ЭВЛ) приповерхностных слоев металлов и сплавов продуктами электрического взрыва проводников [3]. Цель настоящей работы заключалась в формировании композиционных слоев систем $Ti-B-Cu$ в различных режимах обработки и изучении особенностей рельефа их поверхности, строения и структуры. Исследования структуры зоны ЭВН композиционных покрытий $TiB_2 - Cu$ проводили при значениях поглощаемой плотности мощности, равной $4,5 ГВт / м^2$, что обеспечивало предплавильное состояние поверхности. ЭВН проводили электровзрывом медного композиционного материала для нанесения покрытий в виде двуслойной фольги с заключенной в ней навеской порошка диборида титана. Использовали отожжённые медные фольги.

* Исследования выполнены в соответствии с Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по гос. контракту № 14.740.11.1154 и грантам РФФИ №№ 11-02-91150-ГФЕН_а, 11-02-12091-офи-м.

Порошок диборида титана, используемый для ЭВН, имел фракцию 1...3 мкм. Масса навески порошка TiB_2 и медной фольги составляла 125 и 125 мг соответственно.

Отчетливо видно, что формирующееся при ЭВН покрытие характеризуется более развитыми параметрами шероховатости по сравнению с исходной (таблица 1). После одно-, двух- и трехкратной обработки параметр шероховатости R_a составляет 2,5...2,7 мкм для базовой поверхности и 2,6...2,7 для базовой длины.

Ниже представлено детализированное описание данных оптической интерферометрии для случая ЭВН трех единичных слоев. Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a = 2,7$ мкм. Единичный выступ профиля высотой 14,0 мкм и впадина глубиной 16,9 мкм обуславливают высокие значения наибольшей высоты профиля для базовой поверхности $R_{max} = 30,9$ мкм и для базовой длины $R_{max} = 18,8$ мкм. Средний шаг неровностей $S_m = 50$ мкм, средний шаг местных выступов $S_m = 40$ мкм. Полученные значения параметров шероховатости обусловлены тем, что поверхностные слои были получены при электровзрывной обработке, для которой характерно осаждение на поверхность преимущественно жидких частиц продуктов взрыва из тыла струи с последующей самозакалкой.

Таблица – Параметры шероховатости образцов электротехнической меди М00 после электровзрывного напыления

| Исследуемый образец | Параметры шероховатости | | | |
|--------------------------|-------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | для базовой поверхности | | для базовой длины | |
| | R_a | R_{max} | R_a | R_{max} |
| подготовка для ЭВН | 1,5 | 21,5 | 1,5 | 13,8 |
| ЭВН единичного слоя | 2,5 | 32,4 | 2,7 | 18,8 |
| ЭВН двух единичных слоев | 2,6 | 35,4 | 2,6 | 18,7 |
| ЭВН трех единичных слоев | 2,7 | 30,9 | 2,6 | 18,8 |

После ЭВН происходит увеличение шероховатости поверхности по сравнению с исходным значением. После одно-, двух- и трехкратной

обработки шероховатость остается стабильной R_a и составляет 2,5...2,7 мкм. Полученные параметры шероховатости не препятствует практическому использованию электровзрывных поверхностных слоев, поскольку известно, что при эксплуатации средне- и тяжело нагруженных выключателей в неизменных условиях работы происходит приработка и создается стабильная шероховатость поверхности.

Список литературы

1. Анисимов, А.Г. Исследование возможности электроимпульсного спекания порошковых наноструктурных композитов / А.Г. Анисимов, В.И. Мали // Физика горения и взрыва, 2010. – № 2. – С. 135-139.
2. Гречанюк, Н.И. Композиционные материалы на основе меди и молибдена для электрических контактов, конденсированные из паровой фазы. Структура, свойства. Технология. Часть 1. Современное состояние и перспективы применения технологии электронно-лучевого высокоскоростного испарения-конденсации для получения материалов электрических контактов / Н.И. Гречанюк, В.А. Осокин, [и др] // Современ. электрометаллургия, 2005. – № 2. – С.28-35.
3. Багаутдинов, А.Я. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А Будовских., Ю.Ф. Иванов [и др.]. – Новокузнецк.: СибГИУ, 2007. – 301 с.

By methods of electroexplosive spray coating formed by electric-containing TiB_2 -Cu. Studied the surface roughness and morphological components revealed the structure of their surfaces.

Романов Денис Анатольевич, аспирант кафедры физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, romanov_da@physics.sibsiu.ru.

Гагарин Александр Юрьевич, студент Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, romanov_da@physics.sibsiu.ru.

Будовских Евгений Александрович, доктор технических наук, доцент, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, budovskih_ea@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 629.3:004.94

И.И. Романчук

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРДАННЫХ ВАЛОВ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрены структурные особенности шва сварных соединений карданного вала, проведен анализ напряженно-деформированного состояния виртуальной модели трубы карданного вала и произведен подбор материала трубы с целью повышения эксплуатационных характеристик.

Карданные механизмы (карданы) представляют собой устройства, которые способны передавать вращающий момент определенной величины или вращательное движение от одного вала к другому при фиксированных или переменных углах пересечения их осей [1].

Выпускаемые карданные передачи и валы имеют различное конструктивное исполнение, варианты которого зависят от условий (характера) эксплуатации конкретного типа карданного вала или передачи. Детали карданного механизма изготавливают с заданными параметрами, обеспечивающими механическую прочность, необходимый угол складывания, заданный ресурс работы.

Для исследования приняты карданные валы большегрузных автомобилей серии БелАЗ 7555. Труба карданных валов этой серии изготавливается из стали 35 по ТУ У27.2-05757883-202:2009.

Большое количество актов-рекламаций от потребителей по поводу внезапного разрушения карданных валов данного типа при эксплуатации обусловило необходимость проведения дополнительных исследований по данной проблеме.

Исследование микроструктуры сварочных швов и зоны термического влияния (ЗТВ), соединяющих элементы карданных валов большегрузных автомобилей серии БелАЗ 7555 выявило структуру троостит и мартенсит в виде включений в зоне термического влияния с твердостью до 54 HRC.

Сталь 35 имеет ограниченную свариваемость и требует термообработки после сварки для снятия остаточных напряжений. При эксплуатации карданный вал испытывает изгибающие, скручивающие, осевые и другие нагрузки. Включения мартенсита в ЗТВ являются

своего рода концентраторами напряжений, приводящие со временем к образованию микротрещин и при неблагоприятных условиях к разрушению карданного вала.

С применение программного пакета SolidWorks была создана виртуальная модель трубы карданного вала рассматриваемой серии, исследовано напряженно-деформированное состояние, проведены теоретические расчеты, что позволило подобрать материал трубы с заданными механическими характеристиками, но не образующий закалочных структур при сварке.

Список литературы

1. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В.И.Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А.Струка. – Минск.: Тэхналогія, 2006. – 409 с.
2. Яблочников, Е.И. Моделирование приборов, систем и производственных процессов / Е.И. Яблочников, Д.И. Куликов, В.И. Молочник. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 156 с.

The structural features of the seam weld the shaft, an analysis of the stress-strain state of a virtual model of the propeller shaft tube and pipe material selection is made in order to improve performance.

Романчук Иван Иванович, магистрант 2 года обучения факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ivanromanchuk@ya.ru.

Научный руководитель – *Авдейчик Сергей Валентинович*, кандидат технических наук, зав. кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 541.15

А.В. Сайчук, Ю.С. Арсеньева

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СПЛАВОВ Zn-Ni- и Zn-Ni-Co

В работе исследовались бинарные и тройные сплавы Zn – Ni, Zn – Ni – Al₂O₃, Zn – Ni – Co, Zn – Ni – Co – Al₂O₃, которые осаждались из сульфатных электролитов на низкоуглеродистую сталь. Обнаружено, что из комплексных электролитов с модификатором Al₂O₃ осаждаются бинарные и

тройные сплавы $\text{Zn} - \text{Ni}$ и $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co}$ с повышенным (более 100%) выходом сплава и пониженным содержанием пор на 1 см^2 в сравнении с покрытиями, нанесенными из электролитов без модификаторов.

Электролитическое осаждение бинарных и тройных сплавов на $\text{Zn} - \text{Ni}$ и $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co}$, является одним из наиболее распространенных технологических процессов упрочнения поверхности стальных изделий. Широкое применение данных покрытий обусловлено их высокими защитными свойствами, благодаря образованию оксидной пленки, вследствие интенсивной коррозии цинка на воздухе. Одним из перспективных методов упрочнения поверхности покрытия является ее модификация, посредством введения в матрицу основного сплава композита Al_2O_3 . Обладая высокой твердостью и стойкостью к химическим реагентам, корунд (Al_2O_3) значительно повышает эффективность и работоспособность материала. Сплавы с добавлением композита Al_2O_3 обладают стойкостью при высокой влажности и, особенно, при прямом контакте с водой. Поэтому исследование композиционных покрытий на основе Zn с модификатором Al_2O_3 является актуальной задачей.

В данной работе исследовались бинарные и тройные сплавы $\text{Zn} - \text{Ni}$, $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co}$, $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co} - \text{Al}_2\text{O}_3$, которые осаждались из сульфатных электролитов на подложки из низкоуглеродистой стали площадью 240 мм^2 . Состав сульфатных электролитов приведен в таблице 1. Покрытия получали при плотности тока 2 А / дм^2 . Электроосаждение проводилось в термостатируемой кювете при постоянном перемешивании электромагнитной мешалкой.

Таблица 1 – Состав электролитов

| Состав | $\text{Zn} - \text{Ni}$, г/л | $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Al}_2\text{O}_3$, г/л | $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co}$, г/л | $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co} - \text{Al}_2\text{O}_3$, г/л |
|---|----------------------------------|--|--|--|
| H_3BO_3 | 25 | 25 | 30 | 30 |
| $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 75 | 75 | 130 | 130 |

Продолжение таблицы 1

| | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|
| $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 125 | 125 | 150 | 150 |
| Al_2O_3 | - | 25 | - | 20 |
| $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | - | - | 46 | 46 |
| NH_4Cl NH_4Cl | - | - | 2 | 2 |

Исследовался выход сплава по току, который определялся по отношению теоретической массы, определенной по закону Фарадея, к массе практической.

На рисунке 1 представлен прирост массы сплавов $\text{Zn} - \text{Ni}$, $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co}$, $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co} - \text{Al}_2\text{O}_3$.

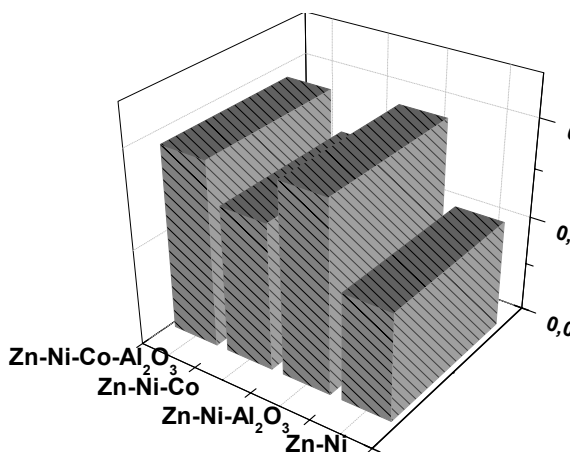


Рисунок 1 – Диаграмма прироста массы сплавов цинка за 1 ч

Анализ результатов показывает, что скорость электроосаждения покрытий с Al_2O_3 значительно выше, чем у покрытий без модификатора. При этом визуально покрытия получились гладкие, компактные и хорошо сцепленные с основой. Выход сплава по току у модифицированных образцов также несколько выше, чем у контрольных. Так, выход сплава по току у покрытий $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Al}_2\text{O}_3$ на 15 % выше, чем у $\text{Zn} - \text{Ni}$ и составляет 106 %. У покрытий $\text{Zn} - \text{Ni} - \text{Co} - \text{Al}_2\text{O}_3$ выход сплава по току выше на 8 %, чем у

Zn – Ni – Co, осажденных при тех же условиях, и составляет 106 %. Высокий выход сплава по току (более 100 %) указывает на обильное включение частиц Al_2O_3 в матрицу основного вещества. Это связано с тем, что Al_2O_3 не имеет заряда и не участвует в химической реакции. Попадая в поток восстанавливаемых ионов благодаря интенсивному перемешиванию раствора электромагнитной мешалки он, внедряется матрицу сплава.

Увеличение выхода сплава по току у Zn – Ni – Al_2O_3 и у Zn – Ni – Co – Al_2O_3 обусловлено также уменьшением количества пор, которые возникают в результате наводороживания на стальной подложке, а также увеличением толщины покрытия, связанное с возрастанием массы. Количество пор на 1 см^2 у покрытий Zn – Ni составляет 6, у покрытий Zn – Ni – Al_2O_3 – $1 \text{ п} / \text{см}^2$. Аналогичная картина наблюдается и для тройных сплавов. Количество пор у Zn – Ni – Co равно $6 \text{ п} / \text{см}^2$, а Zn – Ni – Co – Al_2O_3 в два раза меньше.

Таким образом, в результате проведенных исследований обнаружено, что из комплексных электролитов с модификатором Al_2O_3 осаждаются бинарные и тройные сплавы Zn – Ni - и Zn – Ni – Co с повышенным (более 100 %) выходом сплава и пониженным содержанием пор на 1 см^2 в сравнении с покрытиями, нанесенными из электролитов без модификаторов. Это, обусловлено, по всей видимости, внедрением Al_2O_3 в матрицу основного вещества, что должно приводить к улучшению механических и химических свойств.

Список литературы

1. Окулов, В.В. Цинкование. Техника и технология / В.В. Окулов. – М.: Глобус, 2008. – 252 с.
2. Проскуркин, Е.В. Цинкование / Е.В. Проскуркин, В.А. Попович, А.Т. Мороз. – Москва: Металлургия, 1988. – 528 с.
3. Пурин, Б.А. Комплексные электролиты в гальванотехнике / Б.А. Пурин [и др.]. – Рига: Лиесма, 1978. – 265 с.

In the given work binary and threefold alloys Zn-Ni, Zn-Ni- Al_2O_3 , Zn-Ni-Co, Zn-Ni-Co - Al_2O_3 which were besieged from sulphatic electrolits on a steel were investigated. It is revealed that from complex electrolits with modifier Al_2O_3 binary and threefold alloys Zn-Ni Zn-Ni-Co with raised (more than 100 %) an exit of an alloy and the lowered maintenance of a time on 1 см^2 in comparison with the coverings put from electrolits without modifiers are besieged.

Сайчук Александра Викторовна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, alexsa-respekt@mail.ru.

Арсеньева Юлия Сергеевна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, arseneva_julia@mail.ru.

Научный руководитель – *Валько Наталья Георгиевна*, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, N.Valko@grsu.by.

УДК 678.01:621.7:627.217

Р.Ю. Сергейчик

НАНОФАЗНЫЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Проведен анализ структуры и физико-механических характеристик лакокрасочных материалов на базе эпоксидно-полиэфирных композиций, модифицированных минеральными нанофазными модификаторами. Разработаны и оптимизированы составы и технология формирования нанокomпозиционных покрытий на основе реактивных полимер-олигомерных смесевых матриц, при их формировании методом электростатического осаждения.

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) – это многокомпонентные составы (жидкие, пастообразные или порошкообразные), которые при нанесении тонким слоем на твердую подложку высыхают с образованием лакокрасочного покрытия с заданными свойствами [1]. Порошковая окраска – экологически чистая, безотходная технология получения высококачественных декоративных и декоративно-защитных полимерных покрытий. Покрытие формируют из полимерных порошков, которые наносят на окрашиваемую поверхность изделия [2]. Все порошковые ЛКМ могут быть разделены на две большие группы: термопластичные и термореактивные. Термопластичные ЛКМ формируют покрытия без химических реакций, лишь за счет сплавления частиц при нагревании. Образующиеся из них покрытия термопластичны, обратимы. Их применяют преимущественно для получения покрытий функционального назначения – химически

стойких, противокоррозионных, антифрикционных, электроизоляционных. Покрытия обычно наносят толстыми слоями – 250 мкм и более.

Целью данной работы является изучение структуры и физико-механических характеристик покрытий, получаемых на металлических подложках из эпоксидно-полиэфирных композиций, модифицированных минеральными наночастицами модификаторами.

Для проведения испытаний были изготовлены металлические пластины толщиной 1,2 мм из стали 3, на которых формировали покрытия следующего состава: ЭПК 502 (эпоксидно-полиэфирная краска), ЭПК 502 + 1 % SiO_2 , ЭПК 502 + 3 % SiO_2 , ЭПК 502 + 5 % SiO_2 . Кремний (основная составляющая α – кварц (SiO_2)) является функциональной добавкой, которая должна увеличить физико-механические характеристики покрытий, формируемых из порошковых красок. Окрашивание, исследуемых образцов, осуществлялась с помощью установки для нанесения покрытий электростатическим способом ТЕМПО РПЭ-11. Методами ИК-спектроскопии, физико-механического анализа проведены исследования структуры и эксплуатационных характеристик разработанных покрытий. Составляющими эпоксидно-полиэфирной краски ЭПК 502 являются эпоксидные и полиэфирные смолы, полосы поглощения в которых находятся в следующих областях ИК-спектра: полиэфирная отвержденная смола – 708 см^{-1} , 748 см^{-1} , 903 см^{-1} , 1053 см^{-1} , 1070 см^{-1} , 1127 см^{-1} , 1159 см^{-1} , 1244 см^{-1} , 1283 см^{-1} , 1370 см^{-1} , 1445 см^{-1} , 1580 см^{-1} , 1650 см^{-1} , 1744 см^{-1} , 2118 см^{-1} , 2942 см^{-1} , 298 см^{-1} ; эпоксидная отвержденная смола – 787 см^{-1} , 829 см^{-1} , 912 см^{-1} , 1037 см^{-1} , 1106 см^{-1} , 1183 см^{-1} , 1245 см^{-1} , 1295 см^{-1} , 1361 см^{-1} , 1383 см^{-1} , 1413 см^{-1} , 1457 см^{-1} , 1509 см^{-1} , 1582 см^{-1} , 1606 см^{-1} , 2870 см^{-1} , 2928 см^{-1} , 2963 см^{-1} , 3036 см^{-1} .

Методом локального динамического индентирования изучены напряженно-деформированные состояния покрытий, полученных на базе эпоксидно-полиэфирных композиций. Установлено, что введение наночастицы модификатора увеличивает твердость покрытий, при этом

сохраняет высокие значения адгезии эпоксидно-полиэфирных соединений к металлической поверхности.

Таким образом, проведен комплексный анализ структурных и физико-механических параметров системы «наноконпозиционное покрытие – металл». Установлен эффект образования в структуре нанофазного эпоксидно-полиэфирного покрытия, сетки лабильных физических связей, приводящих к увеличению физико-механических и коррозионных характеристик. Разработанный состав композиционного нанофазного покрытия на базе смесевых матриц и оптимизированное содержание нанофазного силикатного модификатора в объеме полимер-олигомерной матрице, находящейся в области 5 мас.%, обеспечивает повышенную адгезионную прочность и твердость нанесенного покрытия. Разработаны и оптимизированы составы и технология формирования наноконпозиционных покрытий на основе реактивных полимер-олигомерных смесевых матриц, при их формировании методом электростатического осаждения. Разработанные составы защитного покрытия прошли опытную проверку в производстве технологического оборудования, выпускаемого открытым акционерным обществом «Гродторгмаш».

Список литературы

1. Лифшиц, М.Л. Лакокрасочные материалы / М.Л. Лифшиц, Б.И. Пшиялковский. – М.: Химия, 1982. – 360 с.
2. Бобков, Л. С. Лакокрасочные покрытия в машиностроении / Л.С Бобков, А.Н. Васюкова. – М.: Машиностроение, 1974. – 268 с.

The analysis of the structure and physical and mechanical properties of coatings based on epoxy-polyester compositions modified by nanophase mineral modifiers is carried out. There were designed and optimized compositions and technology of nanocomposite coatings based on polymer-oligomeric mixed matrix during their formation by electrostatic deposition.

Сергейчик Руслан Юрьевич, студент 5 курса Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Овчинников Евгений Витальевич*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана по научной работе, факультет инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. ovchin_1967@mail.ru.

УДК 669.18.017:53

*В.В. Сизов, С.В. Воробьев, С.В. Коновалов, Я.В. Белоусова,
И.А. Комиссарова, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов*

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 20Х23Н18 ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ*

Показано, что облучение высокоинтенсивным электронным пучком поверхности стали 20Х23Н18 приводит к формированию поликристаллической структуры. Исследования проводились методами дифракционной электронной микроскопии. Установлены причины формирования поликристаллической структуры стали.

Обработка поверхности стали электронным пучком привела к формированию поликристаллической структуры, средний размер зерен которой составляет 21,3 мкм. В объеме зерен наблюдается полосчатая субструктура, которая может являться пачками следов скольжения. В отдельных случаях вдоль границ зерен выявляются микротрещины. Это указывает на высокий уровень напряжений, формирующихся в поверхностном слое стали при высокоскоростном охлаждении, реализуемом при электронно-пучковой обработке.

Исследования выполнялись методами дифракционной электронной микроскопии, которые подтвердили и дополнили результаты металлографического анализа поверхностного слоя стали. В объеме зерен были выявлены микродвойники в виде тонких пластинок, группирующиеся в пачки. Как правило, в зерне наблюдается две-три системы микродвойников. Наряду с микродвойниками пространство зерна занимает дислокационная субструктура преимущественно в виде сеток. Скалярная плотность дислокаций составляет $\sim 5,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Микроэлектронограммы, полученные с приграничных объемов, часто имеют квазикольцевое строение. Это указывает на формирование в материале областей с высоким уровнем азимутальной разориентации.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт №02.740.11.0538).

В отдельных случаях в процессе изготовления тонких фольг наблюдается селективное травление приграничных областей. Это может указывать и на обогащение границ зерен примесями, и на расположение вдоль границ частиц второй фазы, и на высокий уровень внутренних полей напряжений поверхностного слоя стали.

Косвенным доказательством высокого уровня напряжений, формирующихся в поверхностном слое стали, облученной электронным пучком, являются изгибные экстинкционные контуры, выявляемые при исследовании структуры материала методом тонких фольг. Весьма часто контуры имеют сложную форму и переменную толщину. Это указывает на существенную кривизну-кручение кристаллической решетки стали, обработанной электронным пучком. Выполненные исследования показывают, что источниками полей напряжений (концентраторами напряжений) являются границы и стыки границ зерен, границы раздела частиц второй фазы и матрицы, границы микродвойников.

Исследования поверхности облучения методами оптической и сканирующей электронной микроскопии позволили выполнить анализ зеренной структуры, формирующейся в поверхностном слое стали. Выполненные исследования выявили поликристаллическую структуру, средний размер зерен которой составляет 18,4 мкм.

Зеренная структура поверхностного слоя стали весьма неоднородна. Преимущественно в стыках границ зерен располагаются группы зерен, размеры которых составляют единицы микрометров. Это может указывать на протекание в стали процесса рекристаллизации, инициированного высоким уровнем напряжений, возникающих в материале при высокоскоростном охлаждении. О формировании в поверхностном слое стали полей напряжений, величина которых превышает предел текучести материала, свидетельствуют и многочисленные следы скольжения, выявленные методами сканирующей электронной микроскопии.

Структура зерен характеризуется ячейками кристаллизации, которые образовались в результате высокоскоростного охлаждения стали. Размеры ячеек зависят от расположения в зерне: в объеме зерна средние размеры ячеек составляют 200 нм; в приграничных областях – 600 нм.

Исследования дефектной субструктуры и фазового состава поверхности облучения стали осуществляли методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии. Выполненные исследования

подтвердили присутствие в объеме зерен структуры ячеистой кристаллизации. Средний размер ячеек ~ 280 нм, что близко к размерам ячеек, выявленных методами сканирующей электронной микроскопии. В объеме ячеек наблюдается дислокационная субструктура преимущественно сетчатого типа. Скалярная плотность дислокаций $\sim 3,2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Дислокационная субструктура преимущественно в виде хаотически распределенных дислокаций наблюдается и в пространстве зерна, свободном от ячеек. Скалярная плотность хаотически распределенных дислокаций $\sim 2,0 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Установлено, что еще одним элементом внутризеренной структуры поверхностного слоя стали являются микродвойники. В зерне присутствует одна система микродвойников, формирующих пачки параллельных пластин. Исключительно редко обнаруживаются зерна с двумя системами микродвойников. Также редко в объеме зерен выявляются изгибные экстинкционные контуры. Формируются контуры у границ зерен и пластин микродвойников, указывая на источник внутренних полей материала. Незначительное количество изгибных контуров может указывать на низкий уровень и малое количество источников внутренних полей напряжений.

Irradiation a high-intensity electronic bunch lead to formation of polycrystalline structure. Researches were spent by methods of diffraction electronic microscopy. The reasons of formation of polycrystalline structure became established.

Сизов Василий Васильевич, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Воробьев Сергей Владимирович, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Белоусова Яна Валерьевна, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, yanabelka92@yandex.ru.

Комиссарова Ирина Алексеевна, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, yanabelka92@yandex.ru.

Иванов Юрий Федотович, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, yufi@mail2000.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

Иванов Юрий Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, yufi@mail2000.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 621.892

П.С. Сластенов

СИЛИКАТОСОДЕРЖАЩИЕ НАНОФАЗНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В работе рассмотрена возможность улучшения реологических и триботехнических свойств пластичных смазок, модифицированных нанofазными частицами силикатосодержащих минералов. Приведена информация о наномодификаторах, вводимых в базовый состав пластичных смазок, улучшающих реологические и триботехнические характеристики.

Трение – один из основных процессов, приводящих к выходу машин и механизмов из строя. Для повышения ресурсоспособности и уменьшения износа пар трения применяются разнообразные смазочные материалы [1].

В современном машиностроении применяют различные пластичные смазки и смазочные масла, содержащие в качестве противоизносных компонентов порошки металлов, оксидов, графита, дисульфида молибдена, галогеносодержащие и антиокислительные присадки, полимерные и металлополимерные присадки, и пр. [2].

Эффективным противоизносным компонентом смазок для тяжело нагруженных узлов являются полимерные и металлополимерные частицы, в том числе в виде дисперсных волокон, полученных при переработке технологических отходов производства искусственного меха.

Представляет интерес использовать в качестве функциональной присадки дисперсные частицы кремния, минерала с высокой адсорбционной способностью [3].

Целью данной работы являлось изучение реологических и триботехнических характеристик пластичных смазок, модифицированных нанofазными частицами кремния.

В качестве базовых пластичных смазок использовали Литол-24, Итмол-150Н, Циатим-201, которые модифицировали различным процентным содержанием частиц кремния (0,5 %, 1 %, 2 %, 5 %).

Триботехнические испытания проводились на машине трения FT-2 при скорости скольжения 1,0 м/с и нагрузке 5 МПа и фитильном способе подведения смазки к зоне трения.

Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что преобладающей минеральной фазой является α – кварц и α – тридимит.

Исходя из полученных данных, в ходе проведения исследований, установлено, что нанофазные дисперсные частицы кремния адсорбируют низкомолекулярный компонент смазочной композиции, благодаря чему способствуют устойчивости разделительного слоя в зоне нагруженного фрикционного контакта.

Наличие у наночастиц модификатора нескомпенсированных носителей заряда способствует поляризации жидкофазного компонента, расположенного вокруг полярных частиц, введенных в смазку, и полимерного разделительного слоя, который формируется в процессе эксплуатации пары. В результате на поверхности трения образуется экранирующий слой сложного строения, включающий полимерную и олигомерную компоненту.

Список литературы

1. Богданович, П.Н. Трение и износ в машинах: учеб. для вузов. / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак. – Минск: Выш. шк., 1999. – 374 с.
2. Виноградова, И.Э. Противоизносные присадки к маслам. / И.Э. Виноградова. – М.: Химия, 1972. – 272 с.
3. Овчинников, Е.В. Физико-механические свойства кремния / Е.В. Овчинников // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы – 2003. – Серія 2. – № 2 – С. 90-103.

The possibility of improving rheological and tribotechnical properties of lubricating greases, modified nanophases particles of silikat minerals. Provides information on the nanomodifikatory entered in the base composition of lubricating greases to improve flow and tribotechnical characteristics.

Сластенов Павел Станиславович, студент 6 курса заочного отделения факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Slastenov-804@mail.ru.

Научный руководитель – *Овчинников Евгений Витальевич*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана по научной работе, факультет инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ovchin_1967@mail.ru.

УДК 678.07:661.683

В.Г. Сорокин

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЧАСТИЦ НАНОМОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Показано, что модальное значение, которое в эксперименте характеризует среднее значение размеров наночастиц, может не совпадать с параметром физического свойства для этого среднего. На эти отклонения влияют размеры правого и левого плеч распределения и наличие в нанопорошке частиц с макросвойствами.

На параметры физических свойств любых веществ оказывают влияние их структурно-химические характеристики, включающие особенности их атомно-молекулярного строения и дефекты как отличия атомно-молекулярной структуры изучаемого объекта от идеальной модели. В конце прошлого века исследователи обратили внимание на, в общем то, известный уже в первой половине этого века факт зависимости некоторых свойств от размеров частиц вещества [1].

Табличные значения параметров физических свойств считаются независимыми от линейных размеров частиц вещества (d). Однако в наноразмерном диапазоне частиц эти вещества по своим свойствам начинают отличаться от объемных. Существует размерная граница L_0 такая, что при $d > L_0$ параметры свойств не зависят от размеров частиц, а при $d < L_0$ на параметр свойства влияет размерный фактор. Следовательно, L_0 является размерной границей между макро- и наносостоянием, так как L_0 лежит в наноразмерной области. Как показано в работах [2-5] эта размерная граница определяется условием

$$L_0 = \frac{\sqrt{1,5}h}{\sqrt{km}} \frac{1}{\sqrt{\theta_D}} = C \cdot \theta_D^{-1/2}, \quad (1)$$

где h, k – постоянные Планка и Больцмана соответственно, m – масса электрона, θ_D – температура Дебая изучаемого вещества.

Так как C в (1) определяется известными физическими константами, то ее числовое значение имеет значение:

$$L_0 = 2,3 \cdot 10^{-7} \left[\text{м} \cdot \text{К}^{1/2} \right] \cdot \theta_D^{-1/2} \left[\text{К}^{-1/2} \right] = 2,3 \cdot 10^{-7} \theta_D^{-1/2} \left[\text{м} \right] = 230 \cdot \theta_D^{-1/2} \left[\text{нм} \right]. \quad (2)$$

Зависимости параметров физических свойств от размера частиц $S(d)$ приведены в ряде работ, например [6,7].

В связи с вышеизложенным, важное значение имеет разработка критериев оценки влияния размерных неоднородностей дисперсных частиц на параметры служебных характеристик полимерных композитов.

Имеющиеся в научной литературе материалы, посвященные анализу изменений параметров различных физических свойств наночастиц в зависимости от их размеров, показывают, что отношение параметров наносвойств к их объемному значению $S(x)/S_V$ может быть описано уравнением

$$S(x)/S_V = \left| \exp \left[-\alpha \left(\frac{L_0}{x} - 1 \right)^{3/2} \right] \right|, \quad (3)$$

где L_0 – размерная граница между нано- и макросостоянием.

Размер наночастиц устанавливается по медиальному значению статистического распределения частиц по размерам $P(x)$. Предложена модель, позволяющая определять влияние этого распределения на экспериментальные значения параметров. Эта модель показала, что в зависимости от характеристик $P(x)$ экспериментальные параметры физического свойства могут отличаться от их значений, определяемых по выше приведенной формуле.

Список литературы

1. Китель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Китель. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит. 1969. – С. 170.
2. Лиопо, В.А. Теорема Блоха и геометрический критерий наноразмерности / В.А. Лиопо // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. междунар. научн. конф. ФТТ-2007. 23-26.10.2007. – Т. 2. – С. 52-54.
3. Лиопо, В.А. Размерная граница между нано- и объемными состояниями: теория и эксперимент / В.А. Лиопо // Вестник ГрГУ. – 2007. – Сер. 2. – № 2. – С. 65-71.
4. Лиопо, В.А. Определение максимального размера наночастиц / В.А. Лиопо // Вестник ГрГУ. – 2007. – Сер. 2. – № 1 (48). – С. 50-56.
5. Лиопо, В.А. Размеры и габитус нанокристаллов / В.А. Лиопо // Актуальные проблемы физики твердого тела. ФТТ-2005. – Минск: Изд-во НАН, 2005. – Т. 2. – С. 275-277.
6. Лиопо, В.А. Габитус нанокристаллов / В.А. Лиопо // Низкоразмерные системы-2. – 2005. – В. 4. – С. 175-186.
7. Лиопо, В.А. Геометрические параметры наночастиц / В.А. Лиопо // Низкоразмерные системы-2. – 2003. – В. 2. – С. 4-11.
8. Лиопо, В.А. Зависимость физических величин от размера частиц в нанодиапазоне / В.А. Лиопо, А.Ю. Иванов, А.В. Никитин, Ю.Г. Тарасевич // Вестник БрГУ им. А.С. Пушкина. – 2009. – Сер. ест. наук. – № 2 (33). – С. 60-67.
9. Ajayan, P.M., Nanocomposite science and technology. / P.M. Ajayan, Z.S. Schadler, A.V. Braun. // Wiley – VCV. GmbH I Co Kga A, 2004. – 230 p.

It was suggested the formal model which explains the differences between values of experimental and theoretical parameters of nanoparticles physical properties.

Сорокин Валерий Геннадьевич, аспирант 3-го года заочной формы обучения кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sorvg@grsu.by.

Научные руководители – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор, декан факультета инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, aleks@grsu.by.

Лиопо Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 778.38

Н.О. Старосотников

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В СХЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ

В данной работе приведены результаты по оптимизации процесса записи внутриобъемных дифракционных структур и использованию их в оптических схемах в качестве элементов коммутации световых лучей.

В работе [1] была показана принципиальная возможность внутриобъемной записи дифракционных структур методами двулучевой динамической голографии и представлены результаты предварительных исследований по записи таких структур в образцах ПММА. Целью данной работы является оптимизация исследуемых процессов записи и оценка эффективности использования получаемых структур в качестве оптических элементов.

На рисунке представлены оптическая схема экспериментальной установки, схема считывания, а также фотографии записанных структур и ход считывающего луча в исследуемом образце ПММА. Предварительно определялся энергетический порог возникновения нелинейных и термических эффектов, приводящих к возникновению внутренних необратимых нарушений однородности образцов [2].

Используемая среда ПММА характеризуется поглощением (до 0,1) на длине волны излучения записи. Вследствие поглощения в зоне воздействия лучей (интерференции) происходит локальное нагревание ПММА. В результате исследуемая среда размягчается (температура размягчения 90–130 °С), и в эту зону «впечатывается» дифракционная структура. Эффективность данного механизма записи определяется соотношением скоростей диффузии и полимеризации среды. Применяемый полимерный материал характеризуется быстро протекающей полимеризацией и медленной диффузией. Для оптимизации дифракционной эффективности записываемых структур необходимо учитывать также временную картину лазерного излучения. После записи облученный объем такой среды охлаждается естественным образом.

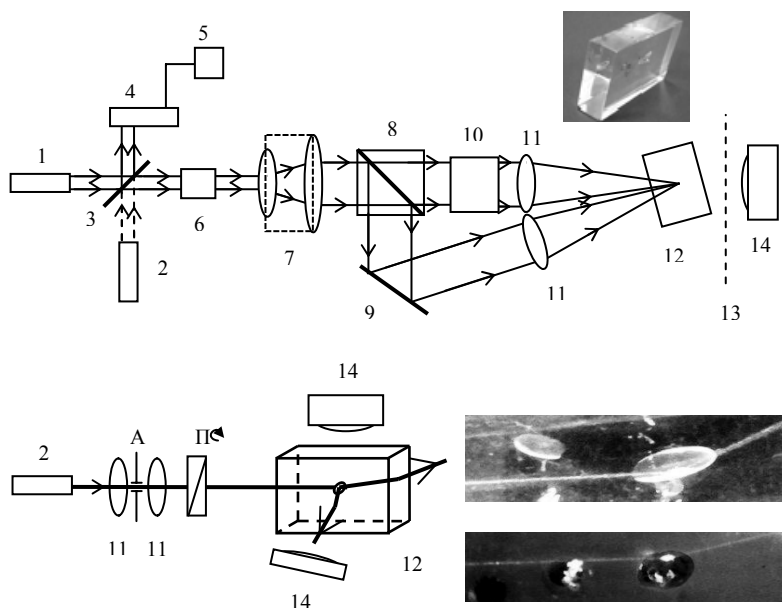


Рисунок – Оптические схемы записи дифракционной структуры и распространения считывающего луча в исследуемом образце

ПММА: рубиновый лазер (1), ЛГ-208 (2), светоделительная пластинка (3), измеритель ИМО-3 (4,5), оптический ослабитель (6), расширитель луча (7), светоделительный кубик (8), отражающее зеркало (9), оптический компенсатор (10), линзы (11), исследуемый образец (12), защитный экран (13), система фоторегистрации (14), апертурная диафрагма (АД), поляризатор (П)

В пределах изменения угла сведения сформированных лучей, достигаемого в условиях проведенного эксперимента, пространственная частота записи составляет $(0,6...5) \cdot 10^3 \text{ мм}^{-1}$. Экспериментально определен энергетический диапазон динамический записи, исключая возникновение в среде необратимых дефектов (до 10 Дж / см^2). Характерной особенностью выполненной записи является возможность изменения ориентации записанной в объеме образца ориентации структуры (направления вектора голограммы) в

зависимости от геометрии записи: положения входной грани относительно падающих на нее лучей. Для всех выполненных экспериментов записанные структуры имеют одинаковую круглую форму, толщину такой структуры можно оценить на уровне, не превышающем 0,1 мм. При малых пороговых уровнях записывающего излучения формируется плоская структура. Затем при увеличении экспозиции проявляется кривизна поверхности, причем направление кривизны совпадает с направлением распространения лучей. Особенно хорошо это заметно при высоких уровнях экспозиции, близких к значениям, при которых происходят необратимые нарушения однородности регистрирующей среды.

В работе рассмотрены варианты применения записанных структур в оптических схемах. В качестве примера на рисунке приведены фотографии хода считывающего луча, иллюстрирующие возможность использования получаемых дифракционных структур как элементов оптической коммутации, отклоняющих либо отражающих световой луч в нужном направлении. При этом было обнаружено, что данная структура обладает анизотропией, связанной с записью ее поляризованным излучением.

Список литературы

1. Старосотников Н.О. Объемная запись дифракционной структуры в образцах ПММА / Н.О. Старосотников // Физика конденсированного состояния: материалы XIX респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 19-20 апр. 2011 г. / Гродненский гос. университет; редкол. Е.А.Ровба [и др.]. – Гродно, 2011. – С. 346-348
2. Воронина, Э.И. Оптическая прочность полимерных материалов при их лазерной абляционной деструкции / Э.И. Воронина, В.П. Ефремов, В.Е. Привалов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин // ЖТФ. – 2009. – Т. 79, № 5. – С. 143-145.

This paper describes results of the optimal record intravolumetric diffraction structures and uses them as elements of the commutation light beams in optical systems.

Старосотников Николай Олегович, студент приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Развин Юрий Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной и теоретической физики, приборостроительный факультет, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, razvin@tut.by.

УДК 620.178.152

П.А. Ховатов, О.В. Комар, Е.А. Трусъ

НАРУШЕНИЕ ЗАКОНА МЕХАНИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ПРИ МИКРОИНДЕНТИРОВАНИИ МОНОКРИСТАЛЛА ЦИНКА

Деформационные двойники, возникающие при индентировании плоскости спайности монокристалла цинка, приводят к нарушению закона механического подобия при определении микротвердости кристалла.

Механические испытания проводились методом восстановленного отпечатка с помощью четырехгранной алмазной пирамиды Виккерса с квадратным основанием и углом $\alpha = 136^\circ$ между противоположными гранями при вершине при строгом соблюдении требований ГОСТ 9450-76, предъявляемые к методу Виккерса [1]. Алмазный индентор Виккерса под нагрузкой $F = 0,1 \text{ Н}$ вдавливался перпендикулярно в плоскость спайности монокристалла цинка со скоростью 50 мкм/с и выдерживался под нагрузкой 10 с. Такие условия обеспечивают статическое деформирование кристалла. После снятия нагрузки на поверхности испытуемого образца оставался отпечаток пирамидки с клиновидными двойниками, который фотографировался и измерялись его диагонали d_1 и d_2 .

Из теории контактного взаимодействия известно, что вдавливание индентора в поверхность образца сопровождается возникновением объемного напряженного состояния с непрерывным уменьшением напряжений от поверхности контакта к периферии. В объеме, где эти напряжения превышают предел упругости материала, происходит пластическая деформация, которая внешне проявляется как образование отпечатка и навалов материала вокруг него. В остальном напряженном объеме деформации носят упругий характер и не имеют определенной границы. В соответствии с ГОСТ 9450-76 при вдавливании алмазной пирамидки Виккерса в однородное тело, сопротивление деформации

которого одинаково во всех точках, должны образовываться геометрически подобные отпечатки. Для таких отпечатков выполняется закон механического подобия, который гласит «два геометрически подобных тела из одного и того же материала подобны механически, если они находятся в таких механических условиях, при которых как напряженные состояния (тензоры напряжений), так и деформации (тензоры деформаций) во всех соответствующих точках тождественны» [2].

На рисунке 1 приведены типичные микрофотографии полученных отпечатков, на рисунке 2 даны гистограммы разброса значений двух диагоналей отпечатков.

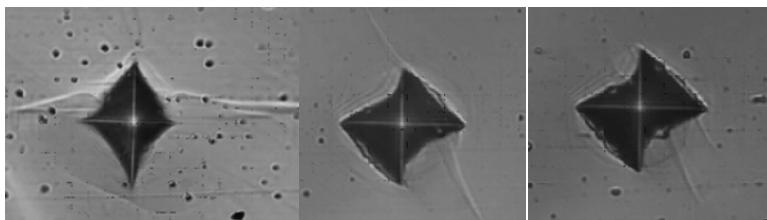


Рисунок 1

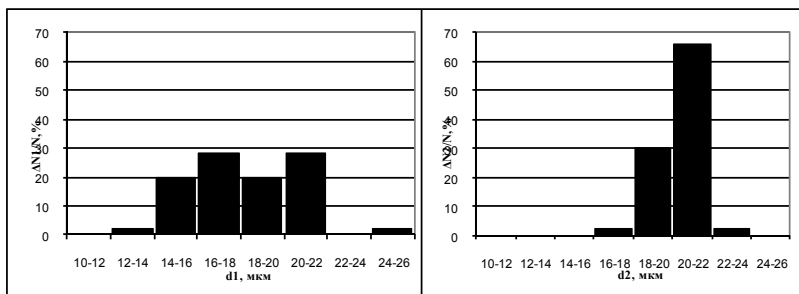


Рисунок 2

Применительно к статическому вдавливанию индентора закон может быть сформулирован так: «Если статическое вдавливание наконечника в однородное тело дает геометрически подобные отпечатки, то отношение вдавливающей силы к квадрату любого линейного размера должно сохраняться постоянным», то есть

$$\frac{P}{d^2} = \text{const.}$$

Полученные экспериментальные результаты по индентированию монокристаллов цинка показывают существенное отличие формы отпечатков от квадрата и значительную разницу в размерах двух диагоналей двойников и статистический разброс их значений при идентичных условиях испытаний. Следовательно,

$$\frac{P}{d^2} \neq \text{const.},$$

и закон механического подобия не выполняется.

Причиной нарушения закона механического подобия в цинке служат деформационные двойники, возникающие у концентраторов напряжений по периметру отпечатка. Поворот кристаллической решетки при двойниковании и взаимодействие двойникования и скольжения в областях аккомодации, где происходит приспособление кристаллической решетки от одной ориентации к другой, сопровождается изменением формы восстановленного отпечатка индентора после разгрузки образца и приводит к различию в значениях его диагоналей.

Список литературы

1. Металлы и сплавы. Измерения твердости. – 294 с. по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения: ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. – Введ. 01.08.08. – М.: 2008. – 21 с.
2. Боярская, Ю.С. Физика процессов микроиндентирования / Ю.С. Боярская, Д.З. Грабко, М.С. Кац. – Кишинев: Штиинца, 1986

The deformation twins arising at indentation of a monocrystal of zinc, lead to infringement of the law of mechanical similarity at definition of microhardness of a crystal.

Ховатов Павел Анатольевич, преподаватель кафедры технической механики инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Комар Ольга Вячеславна, студентка инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, komar_ol@mail.ru.

Грусь Екатерина Александровна, студентка инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nezabudka2008_04@mail.ru.

Научный руководитель – *Чикова Тамара Семеновна*, доктор физико-математических наук, зав. кафедрой технической механики, инженерно-строительный факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, t.chikova@grsu.by.

УДК 620.178.152

П.А. Ховатов, О.В. Комар, А.С. Мороз

ПРОЯВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ИНДЕНТИРОВАНИИ МОНОКРИСТАЛЛА ЦИНКА

Показано, что при индентировании монокристалла цинка по методу Виккерсу деформирование осуществляется путем краудиионной и дислокационной пластичности.

Пластичность – это свойство твердых тел необратимо изменять свои форму и размеры под действием силы. Пластическая деформация кристаллических материалов может осуществляется путем следующих микроскопических механизмов: самодиффузионная и диффузионная пластичность, краудиионная пластичность и дислокационная пластичность. Проявление каждого из механизмов определяется внешними условиями, такими как температура, величина нагрузки, скорость деформирования, внешние энергетические воздействия. Механизмы пластической деформации отличаются количеством атомов кристалла, вовлеченных в пластическую деформацию.

Измерение микротвердости – важный метод оценки прочности и пластичности материалов и научного исследования их физико-механических свойств. При индентировании металлического кристалла с соблюдением ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 «Металлы и сплавы. Измерения твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения» [1] время испытания не позволяет проявиться самодиффузионной и диффузионная пластичности, которая происходит путем перемещения атомных слоев кристалла с участков, где действуют сжимающие силы на участки, где действуют растягивающие силы. Перенос массы может осуществляться посредством самодиффузии по поверхности или через объём кристалла. Такие процессы осуществляются длительно во времени и в ходе индентирования не выявляются.

В процессе внедрения индентора в исследуемый кристалл область под отпечатком и материал, прилегающий непосредственно к

отпечатку, деформируется пластически, а бездефектная часть образца находится в упруго-деформированном состоянии. При снятии нагрузки упругая деформация частично релаксирует.

Краудионная пластичность обусловлена рождением и перемещением краудионов – сгущений атомов вдоль плотно упакованных рядов атомов в кристалле. При внедрении алмазного пирамидального наконечника Виккерса в поверхность кристалла происходит выдавливание материала из зоны контактного взаимодействия путем движения из-под острия краудионов. В результате на некотором расстоянии от точки вдавливания под индентором создаётся повышенная концентрация междоузельных атомов (рис. 1).

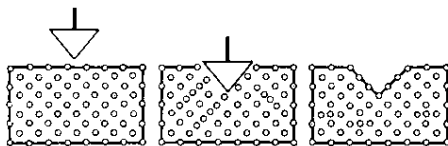


Рисунок 1 – Краудионная пластичность под острием индентора

Другое проявление краудионной пластичности при таких испытаниях наблюдается в виде навалов выдавленного материала в окрестностях лунки, образующейся после разгрузки.

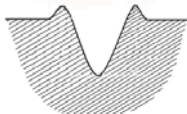


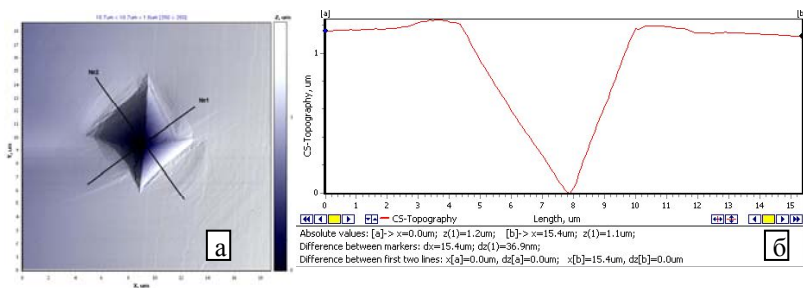
Рисунок 2 – Краудионная пластичность вокруг отпечатка индентора Виккерса

Эксперимента проводились на образцах монокристалла цинка с исходной чистотой 99,996 %. Индентирование осуществлялось при комнатной температуре путем вдавливания алмазной пирамидки Виккерса в плоскость спайности монокристалла под нагрузкой 3 гс со скоростью 50 мкм/с и выдержкой под нагрузкой 10 с. Полученные отпечатки исследовались в статическом режиме на приборе ACM NT-206. Используемая методика дает возможность совместить изучение морфологии поверхности и измерение рельефа с нанометровым разрешением. Разрешение ACM составляет: вертикальное – 0,2 нм, горизонтальное – 2 нм.

На рисунке 3 приведена микрофотография отпечатка пирамидки Виккерса на плоскости спайности монокристалла цинка с двумя клиновидными двойниками.

Изучение профиля отпечатка алмазной пирамидки по различным направлениям позволяет получить количественную оценку вклада краудинной пластичности в общую деформацию кристалла при контактном взаимодействии.

Дислокационная пластичность при индентировании монокристалла цинка реализуется в окрестностях отпечатка путем скольжения и двойникования, что хорошо видно из рисунка 3а.



**Рисунок 3 – а) топография поверхности монокристалла цинка в месте индентирования и прилегающих зонах;
б) профиль отпечатка № 2, полученный по прямой, перпендикулярной сторонам отпечатка**

Размеры зоны, в которой протекает пластическая деформация скольжением, вызываемая внешним механическим напряжением, пропорциональна величине наибольшей диагонали отпечатка.

Двойникование сопровождается поворотом кристаллической решетки и локализовано в местах создаваемых каждой двойниковой прокладкой.

В цинке наблюдается также вторичное (сопутствующее) скольжение в окрестностях двойниковых границ, обусловленное напряжениями, создаваемыми скоплениями двойникующих дислокаций на границах раздела [2].

Список литературы

1. Металлы и сплавы. Измерения твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения: ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. – Введ. 01.08.08. – Москва, 2008. – 21 с.

2. Башмаков, В.И. Пластификация и упрочнение металлических кристаллов при механическом двойниковании / В.И. Башмаков, Т.С. Чикова. – Минск: Технопринт, 2001. – 218 с.

It is shown that at indentation of zinc monocrystal on a method by Vickers deformation is carried out by crowdional and dislocational plasticity.

Ховатов Павел Анатольевич, преподаватель кафедры технической механики инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Комар Ольга Вячеславна, студентка инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, komar_ol@mail.ru.

Мороз Анастасия Станиславовна, студентка инженерно-строительного факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Чикова Тамара Семеновна*, доктор физико-математических наук, зав. кафедрой технической механики, инженерно-строительный факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, t.chikova@grsu.by.

УДК 533.9; 621.793.6

Чинь Нгок Хоанг, Фам Уиен Тхи

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ Са, Mg В ВЫСОХШИХ КАПЛЯХ БЕЛКА НА БУМАЖНЫХ ФИЛЬТРАХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Методом локальной лазерной атомно-эмиссионной многоканальной спектроскопии на примере анализа интенсивности линий Са и Mg в спектрах образцов высушенных капель белка на бумажных фильтрах по диаметру показана возможность оценки их пространственного распределения.

Процессы, протекающие при высыхании капли биологической жидкости на твердой смачиваемой подложке при комнатных условиях привлекают пристальное внимание исследователей уже несколько десятков лет [1]. Интерес к этим объектам вызван, прежде всего, тем, что в последние годы в медицинской диагностике нашел применение метод клиновидной дегидратации [2]. Метод позволяет на основании

анализа структур, образовавшихся при высыхании капли биологической жидкости (плазма крови, спинномозговая жидкость, слюна и т.д.), выявлять широкий набор различных заболеваний. Этот метод обладает неоспоримыми достоинствами для диагностики различных заболеваний человека на доклинической стадии.

Основным недостатком классического метода анализа является то, что процесс распознавания характера структурирования биологических жидкостей происходит качественно, а не количественно, и в большой мере зависит от опыта и навыка прочтения изображения фации у врача-исследователя. В связи с этим, для выбора интегральных критериев оценки состояния организма и создания новых инструментальных методов оценки пространственного распределения неорганических солей в фации важно понимание основных закономерностей развития пространственно-временных событий в высыхающих и высохших каплях.

При высыхании капли биологической жидкости протекает множество разнообразных процессов различной природы от нано- до макроуровня. Однако до сих пор нет полной ясности относительно химического состава периферической и центральной части высушенных капель. Так, в частности, согласно [2-4] считается, что при высыхании происходит перераспределение компонентов: белок накапливается преимущественно по краям капли, в то время как соль распределена по диаметру капли более или менее равномерно.

В настоящей работе для разработки методик оценки радиального распределения элементов анализируется влияние количества добавленного кальция и магния, одних из основных элементов, входящих в состав белков, на их распределение при высыхании капли водного раствора яичного альбумина на поверхности пористого тела (бумажного фильтра) методом локальной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. В качестве источника возбуждения плазмы в спектрометре используется двухимпульсный неодимовый лазер (модель LS2131 DM). Лазер обладает широкими возможностями как для регулировки энергии импульсов (от 10 до 80 мДж), так и временного интервала между импульсами (от 0 до 100 мкс). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц и максимальной энергией излучения каждого из сдвоенных импульсов до 80 мДж на длине волны 1064 нм.

Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сведенными импульсами может изменяться с шагом 1 мкс.

Динамика развития процессов абляции и приповерхностного образования плазмы исследовалась методом атомно-эмиссионной многоканальной спектроскопии при воздействии сведенных лазерных импульсов на поверхность высушенных образцов альбумина с добавленными растворами хлоридов кальция и магния различной концентрации в атмосфере воздуха при энергиях импульсов 20-60 мДж и между импульсными интервалами 0-15 мкс. На основании проведенных исследований были определены наиболее оптимальные параметры: энергии импульсов излучения 58 и 42 мДж (первый и второй импульсы соответственно) и временной интервал между сведенными импульсами 8 мкс.

Яичный белок представляет собой смесь нескольких белков. Примерно 70 % яичного белка составляет альбумин, который легко отделяется от глобулинов. При десятикратном разведении яичного белка дистиллированной водой глобулины выпадают в осадок, а альбумин остается в растворе. В результате количество альбумина в растворе получается примерно равным 0,5 %. Такой раствор в дальнейшем и использовался в работе.

Подготовка образцов проводилась по следующей методике. Капля раствора хлорида кальция или магния определенной концентрации, наносилась на поверхность бумажного фильтра диаметром 6 мм с помощью микропипетки. Объем капли составлял 10 мкл. Процесс сушки проходил при температуре 50°C и относительной влажности воздуха 30-35 % в течение примерно 5 мин (образец 11 и т.д.). Затем поверхность высушенной соли последовательно наносились водные растворы 0,5 % альбумина. Образцы высушивались при вышеуказанных условиях. Один слой – образец 12, два – 13 и т.д.

На рисунке 1а представлены зависимости интенсивности линий кальция, в спектрах высушенных капель альбумина при добавке хлорида кальция с концентрацией 0,01 и 0,2% Са. По диаметру капли проводился анализ в 8 точках. На рисунке 1б приведены аналогичные зависимости для хлорида магния с концентрацией 0,05 и 0,5 %.

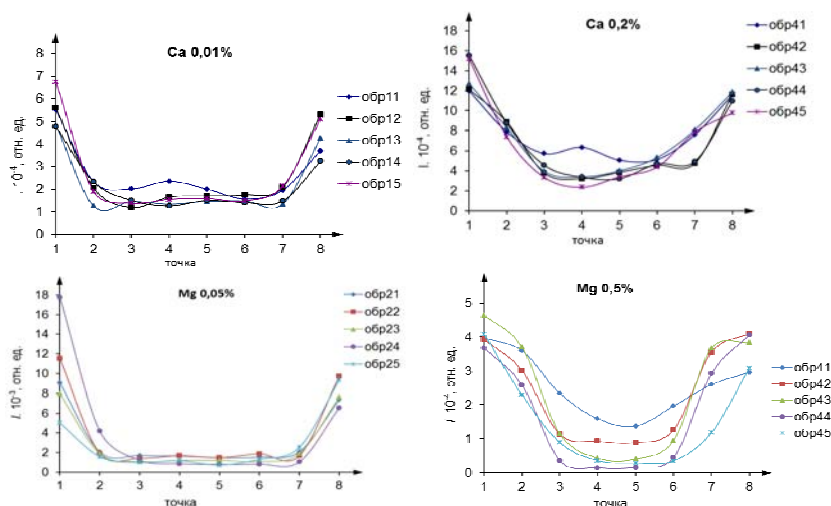


Рисунок 1 – Интенсивность линий Ca II (393,239 нм) (а) и Mg I (384,09 нм) (б) в спектрах

Как видно из приведенных графиков, наблюдается определенная закономерность между интенсивностью линий кальция и магния и их концентраций. При малых концентрациях кальций и магний в основном распределен по краям капли. И только при увеличении концентрации элементов в растворе на порядок концентрация их в центральной части заметно начинает увеличиваться. При добавлении альбумина в виде водного раствора процесс переноса катионов к краям фильтра продолжается. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что это обусловлено преимущественным переносом катионов водой по капиллярам к краям фильтра [5].

Настоящее исследование с использованием метода локального лазерного искрового спектрального анализа показало, что возбуждение сдвоенными лазерными импульсами анализируемой поверхности высохшей капли белка является перспективным направлением для полуколичественной оценки распределения эссенциальных элементов по радиусу и может быть со временем использовано для поиска маркеров заболеваний.

Список литературы

1. Тарасевич, Ю.Ю. Качественный анализ закономерностей высыхания капли многокомпонентного раствора на твердой подложке / Ю.Ю. Тарасевич, Д.М. Православнова // ЖТФ. – 2007. – Т. 77. – вып. 2. – С. 17-21.

2. Шабалин, В.Н. Морфология биологических жидкостей человека / В.Н. Шабалин, С.Н. Шатохина. – М.: Хризостом, 2001. – 304 с.
3. Тарасевич, Ю.Ю. Влияние диффузии на разделение компонентов биологической жидкости при клиновидной дегидратации / Ю.Ю. Тарасевич, А.К. Аюпова // ЖТФ. – 2003. – Т. 73. – вып. 5. – С. 13-19.
4. Тарасевич, Ю.Ю. Влияние режима испарения на пространственное перераспределение компонентов в испаряющейся капле жидкости на твердой горизонтальной подложке / Ю.Ю. Тарасевич, О.Л. Исакова, В.В. Кондухов, А.В. Савицкая // ЖТФ. – 2010. – Т. 89. – вып. 5. – С. 45-51.
5. Мазур, Л.В. Практикум по аналитической химии. Часть 1. Качественный анализ / Л.В. Мазур. – Улан-Уд: Изд-во Бурятского ГУ. 2008. – 93 с.

Using the method of multichannel atomic-emission local laser spectrometry, the possibility for estimation of the spatial diameter-distribution of the dried albumin drops on paper filters has been demonstrated by analysis of the Ca and Mg line intensities in their spectra.

Чинь Нгок Хоанг (Trinh Ngoc Hoang, ун-т Винь, Вьетнам), аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, ngochoangch10@yahoo.com.

Фам Уиен Тхи (Pham Uyen Thi), студентка 3 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Зажогин Анатолий Павлович*, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, zajogin_an@mail.ru.

УДК 535.35; 533.9.082.5

Чинь Нгок Хоанг, Лэ Тхи Ким Ань

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АБЛЯЦИИ И СОСТАВА ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ ОТ ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Экспериментально изучено влияние междуимпульсного интервала на процессы образования и состав приповерхностной лазерной плазмы при воздействии мощных сдвоенных лазерных импульсов ($\approx 10^9 - 5,10^{10}$ Вт.см⁻²) на поверхность мишени из алюминия и сплава Д16Т в атмосфере воздуха.

Роль образующейся лазерной плазмы при импульсной лазерной абляции металлов является определяющей с точки зрения достижения эффективности их обработки. Несмотря на обилие результатов, есть еще и не достаточно освещенные вопросы. Одним из них является вопрос: как влияет время задержки между сдвоенными лазерными импульсами на эффективность формирования отверстий в твердом теле [1-4].

При проведении экспериментов использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Лазер работает с частотой повторения импульсов 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 100 мм. Размер пятна фокусировки примерно 50 мкм. Зависимость энергии импульсов излучения (в мДж) первого и второго канала от энергии накачки и задержки приведена в таблице.

Таблица – Зависимость энергии импульсов излучения (в мДж) первого и второго канала от энергии накачки и задержки

| Задержка, мкс | Энергия накачки, Дж | | | | | | | |
|------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Первый канал 130 | 16,8 | 24,6 | 32,0 | 39,1 | 45,7 | 51,9 | 57,7 | 63,1 |
| Второй канал 130 | 8,2 | 14,8 | 21 | 26,7 | 32,1 | 37,1 | 41,7 | 45,9 |
| 140 | 8,6 | 15,2 | 21,3 | 27,1 | 32,4 | 37,4 | 41,9 | 46,1 |
| 150 | 8,6 | 15,1 | 21,1 | 26,6 | 31,8 | 36,6 | 41,0 | 45,1 |
| 160 | 8,4 | 14,7 | 20,6 | 26,1 | 31,2 | 35,9 | 40,2 | 44,1 |
| 170 | 8,4 | 14,5 | 20,2 | 25,5 | 30,4 | 34,9 | 39,1 | 42,9 |

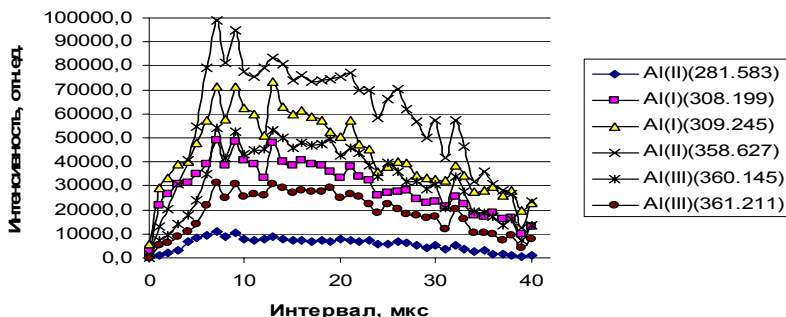
Для изучения эффекта действия второго импульса на процессы в приповерхностной плазме изучена динамика свечения атомных и ионных линий алюминия при различных временных интервалах между

лазерными импульсами. В качестве типичного примера на рис. 1а приведены зависимости интенсивности атомных и ионных линий Al от величины временного интервала между импульсами. Задержка первого импульса постоянна и равна 130 мкс, а энергии импульсов накачки 17 Дж. Размер пятна повреждения ≈ 50 мкм. Как видно из приведенных данных интенсивность линий двухзарядных ионов Al III достигает максимумами при временных интервалах между удвоенными импульсами порядка 9-15 мкс, в то время как для однозарядных – в интервале 5-10 мкс.

Зависимости интенсивности тех же линий от энергии накачки при постоянном временном интервале между импульсами, равном 9 мкс, приведены на рис. 1 б. Интенсивности линий двухзарядных ионов Al III монотонно увеличиваются с ростом энергии лазерного излучения, и при энергии накачки 16 Дж рост ее становятся более интенсивными, чем линии однозарядных ионов и нейтральных атомов.

Полученные результаты на качественном уровне можно объяснить следующим образом. Вблизи поверхности твердого образца содержащих в качестве компонентов металлы, пробой факела эрозионных металлических атомарных паров и нанокластеров происходит при небольшом превышении интенсивности лазерного излучения над значением, необходимым для образования факела. При использовании режима удвоенных импульсов на первичные процессы плазмообразования будут накладываться процессы нагрева и испарения аэрозолей, обусловленные действием второго импульса. Общая черта всех моделей, описывающих пробой в аэродисперсных средах, – нагрев и испарение аэрозольных частиц. Большинство авторов рассматривают аэрозольные частицы как фактор, облегчающий повторный пробой за счет развития электронной лавины в продуктах разрушения частиц [3]. После окончания действия лазерного импульса плазменная область продолжает расширяться за счет запасенной в ней энергии и давления. Расширение прекращается после достижения внутри нее давления, равного атмосферному. Образуется резко ограниченная и относительно долгоживущая область горячего газа вблизи облученной поверхности.

а



б

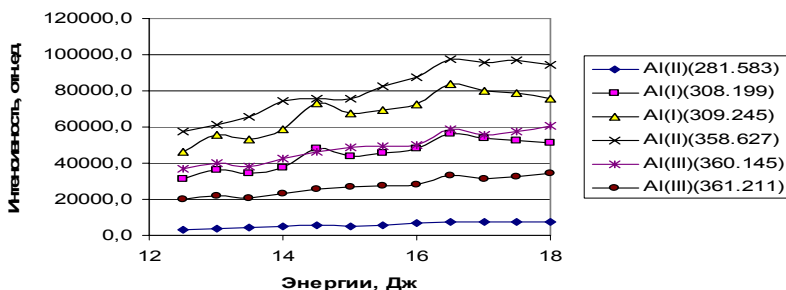


Рисунок – Зависимости интенсивности линий алюминия Al II (281.5 нм), 2. Al I (308.2 нм), 3. Al I (309.3 нм), 4. Al II (358.6 нм), 5. Al III (360.1 нм), 6. Al III (361.2 нм), 7. Al I (394.3 нм), 8. Al I (396.1 нм) [5]: а – от временного интервала между импульсами; б – от энергии накачки

Время формирования t и максимальный радиус r горячей области, определенный в [6], дают значения $t \approx 2$ мкс и $r \approx 0,6$ мм. Указанные значения неплохо коррелируют с наблюдаемым в нашем случае резким изменением скорости пробоя при времени задержки между импульсами примерной равной 4 мкс [7] и началом резкого подъема интенсивности полос Al (см. рис. 1а).

Таким образом, выполненные спектроскопические исследования приповерхностной лазерной плазмы, образуемой вблизи поверхности алюминиевой мишени, при воздействии на нее двух последовательных импульсов показали возможность контроля и управления степенью

ионизации плазмы. Определены временные интервалы между импульсами (5-15 мкс), параметры расфокусировки, обеспечивающие возможность получения максимальной интенсивности линий одно- или двукратно ионизированных атомов алюминия.

Список литературы

1. Сухов, Л.Т. Лазерный спектральный анализ / Л.Т. Сухов. – Новосибирск: Наука, 1990. – 143 с.
2. Анисимов, С.И. Избранные задачи теории лазерной абляции / С.И. Анисимов, Б.С. Лукьянчук // УФН. – 2002. – Т. 172. – № 3. – С. 301-333.
3. Воробьев, В.С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями / В.С. Воробьев // УФН. – 1993. – Т. 163. – № 12. – С. 51-83.
4. Кошманов, В.Е. Исследование энергетического спектра ионов, имплантируемых из лазерной плазмы в импульсных электрических полях / В.Е. Кошманов, А.Л. Смирнов, В.Ю. Фоминский // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2003». – 2003. – Т. 4. – С. 178-179.
5. Зайдель, А.Н. Таблицы спектральных линий / А.Н. Зайдель, В.К. Прокофьев, С.М. Райский, Е.Я. Шрейдер. – М.: Физматгиз, 1962. – 607 с.
6. Климентов, С.М. Роль низкорогового пробоя воздуха в абляции материалов короткими лазерными импульсами / С.М. Климентов, С.В. Гарнов, В.И. Конов, Т.В. Кононенко [и др.] // Труды ИОФ им. А.М. Прохорова РАН. – 2004. – Т. 60. – С. 13-29.
7. Фадаиян, А.Р. Эффекты низкорогового пробоя металлов одиночными и сдвоенными лазерными импульсами / А.Р. Фадаиян, А.П. Зажогин // Вестник БГУ. Серия 1. – 2009. – № 2. – С. 14-18.

The influence of energy on the formation processes of the surface laser plasma and its composition when the surface of the aluminum or D16T alloy target is subjected to the effect of high-power single laser pulses ($\approx 10^9 - 5 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$) in the air has been studied experimentally.

Чинь Нгок Хоанг (Trinh Ngoc Hoang, ун-т Винь, Вьетнам), аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, ngochoangch10@yahoo.com.

Ле Тхи Ким Ань (Le Thi Kim Anh), студентка 4 курса кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Зажогин Анатолий Павлович*, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, zajogin_an@mail.ru.

УДК 543.42:621.373

А.Г. Шагойка

МОРФОЛОГИЯ ТОНКОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрены морфология и структура поверхностных слоев покрытий нитридов алюминия и титана, находящихся на металлической поверхности. Установлен характер взаимного влияния слоев на распределение активных центров и энергию межфазного взаимодействия.

Поверхностная, структурная и химическая модификация материалов, нанесение тонких плазмохимических покрытий на рабочие поверхности изделий являются одним из наиболее эффективных технологических методов повышения их эксплуатационных свойств [1-3]. При этом достигаемый эффект зависит от большого числа факторов, среди которых наиболее важным является выбор оптимальных по химическому составу и свойствам материала покрытия и технологии его формирования.

Одним из перспективных типов тонкослойных покрытий, получаемых плазмохимическими методами, являются соединения вида AlTiN . Система AlTiN является перспективной в сравнении с системой SiTiN , т.к. такие покрытия можно получать с использованием двух катодов из Ti и Al . Более простая схема предполагает использование одного катода из сплава TiAl . В покрытиях состава $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ максимальная твердость (до 40 ГПа) достигается, когда значение параметра x в формуле нитрида составляет 0,5 – 0,6. В неравновесных условиях вакуумно-дугового осаждения именно этот диапазон концентраций является критическим с точки зрения растворимости элементов в решетках нитридов, при более низком содержании – решетка типа NaCl , при более высоком – гексагональная структура вюрцита, характерная для AlN . Имеющиеся литературные сведения в большинстве случаев касаются покрытий, полученных из потока нефильрованной вакуумно-дуговой плазмы. Использование фильтра позволяет увеличить срок службы режущего инструмента с покрытием состава $\text{Ti}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{N}$ в 4 раза по сравнению с напылением без фильтрации, однако особенности синтеза таких покрытий изучены не достаточно.

Целью данной работы являлось изучение морфологии и физико-механических характеристик покрытий AlTiN, формируемых на стальных подложках с применением вакуумных плазмохимических технологий.

Композиционные многослойные покрытия на базе AlTiN наносили методом реактивного электродугового испарения на установке УРМЗ 279.048. В качестве подложек использовали сталь X12M. Поверхность подложек из сталей подвергали закалке до HRC 58-60 и шлифовке до чистоты не ниже 11 кл. Перед нанесением проводили чистку и нагрев поверхности образца ионами титана.

Проведен анализ известных методов нанесения тонкослойных покрытий в вакууме и аналитического описания межфазных процессов, протекающих при взаимодействии конденсированных сред. Рассмотрены морфология, структура поверхностных слоев покрытий нитридов алюминия и титана, находящихся на металлической поверхности. Установлен характер взаимного влияния слоев на распределение активных центров и энергию межфазного взаимодействия. Сформулирована модель, позволяющая провести аналитическое описание диффузионных процессов в условиях протекания контактных химических реакций. Численными методами получены распределения металла и соединений по толщине граничного слоя. Определены кинетические особенности диффузионных процессов и их зависимость от толщины слоя, температуры. Подача на подложку потенциала смещения – (75 – 150) В приводит к формированию в пленках AlTiN сильной текстуры и крайне высоких сжимающих напряжений, а значит увеличению периода решетки в направлении нормали к поверхности, что сказывается на прочностных характеристиках исследуемых покрытий. Покрытия композиционного материала проходят испытания на ОАО «Белкард», ОАО «БелТАПАЗ» при использовании различного вида металлообрабатывающего инструмента.

Список литературы

1. Полевой, С.Н. Упрочнение машиностроительных материалов / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1994. – 496 с.
2. Чеботаровский, В.В. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении / В.В. Чеботаровский, Э.К. Кондратов. – М.: Машиностроение, 1978. – 295 с.

3. Ткачук, Б.В. Получение тонких полимерных покрытий из газовой фазы / Б.В. Ткачук, В. М. Колотыркин. – М.: Химия, 1977. – 216 с.

The morphology and structure of the surface layers of aluminum and titanium nitrides coatings on a metal surface are studied. The character of the mutual influence of layers on the distribution of the active centers and interfacial interactions energy is established.

Шагойка Александр Григорьевич, магистрант 1 года обучения факультета инновационных технологий машиностроения. Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Овчинников Евгений Витальевич*, кандидат технических наук, доцент, зам. декана по научной работе, факультет инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ovchin_1967@mail.ru.

УДК 539.216.2

Е.В. Ядренцева

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОКСИДОВ ИНДИЯ, ОЛОВА И ЦЕРИЯ

Исследованы процессы синтеза прозрачных электропроводящих покрытий реактивным ионно-лучевым распылением керамических мишеней из оксидов индия, олова и церия.

Прозрачные проводящие покрытия с использованием окиси индия давно и широко используются в технике. Наиболее часто применяется смесь In_2O_3 и SnO_2 [1]. Такие покрытия обычно получают путем магнетронного реактивного распыления мишени из металлического сплава [1]. Однако, такой способ требует точного поддержания парциального давления кислорода в рабочем газе, для чего используются сложные устройства эмиссионного контроля плазмы, кроме того, современные оптоэлектронные устройства (ЖК-дисплеи, OLED-дисплеи, солнечные элементы, touch-панели для i-phone и т.п.) требуют повышенных характеристик прозрачных электропроводящих покрытий, что не обеспечивается при использовании сплавных мишеней. Выходом из данной ситуации является использование ионного распыления оксидных керамических мишеней, которые

изготавливаются методами порошковой металлургии. Это позволяет прецизионно контролировать состав исходного материала, а также отказаться от контроля состава рабочего газа. Чтобы соблюсти стехиометрию, достаточно добавить до 5-7 % кислорода в рабочий газ. Качество мишеней, а следовательно, и характеристики прозрачных электропроводящих покрытий, зависят от дисперсности (размеров гранул) исходных материалов, а также от температуры их спекания. Задачей наших исследований было изучение влияния состава мишеней, дисперсности и температуры спекания на оптические и электрофизические параметры покрытий.

Экспериментальные исследования проводились на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017, оснащенной ионным источником на базе ускорителя с анодным слоем. Исследовалось влияние добавок оксида олова и парциального давления кислорода на характеристики покрытий из оксида индия. Исходные мишени содержали 0; 0,5; 10; 15 и 20 весовых процентов SnO_2 .

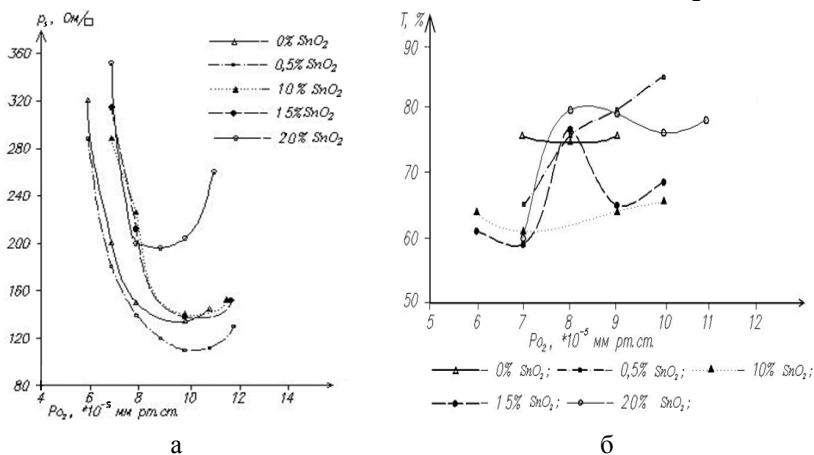


Рисунок 1 – Зависимость удельного поверхностного сопротивления (а) и пропускания (б) от состава мишени $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2$ и парциального давления кислорода

Остаточный вакуум не превышал значения $1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст., рабочий составлял $5 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст., температура подложки – около

40 °С, ускоряющее напряжение на аноде – 3,0 кВ, ток разряда – 70 мА, ток мишени – 50 мА, время напыления – 5 мин. Покрyтия наносились на подложки из стекла. На рис. 1 представлена зависимость удельного поверхностного сопротивления ρ_s и пропускания Т на длине волны 555 нм от парциального давления кислорода для мишеней разного состава. Минимальный уровень ρ_s достигался при парциальном давлении кислорода около $1 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст. и при 0,5 % SnO_2 . При этом пропускание составляло около 85 %.

Снижение сопротивления покрытий можно достичь, применяя другие легирующие добавки, например оксид церия. Были изготовлены мишени из In_2O_3 с добавками CeO_2 (1 %; 1,5 %; 2 %; 3 %; 5 %). На рис. 2 представлены зависимости ρ_s и пропускания Т от состава мишеней и состава рабочего газа.

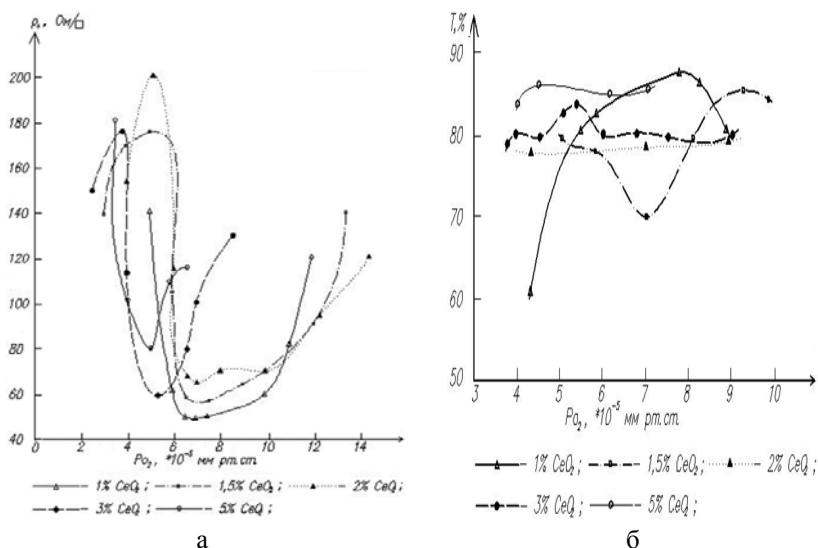


Рисунок 2 – Зависимость удельного поверхностного сопротивления и пропускания от состава мишени $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{CeO}_2$ и парциального давления кислорода

Анализ зависимостей показывает, что при использовании мишени $\text{In}_2\text{O}_3 + 1\% \text{CeO}_2$ удалось снизить ρ_s почти в два раза при пропускании около 88%. Оптимальное давление кислорода составило (7-8) 10^{-5} мм.рт.ст. .

Для исследования влияния дисперсности исходного материала были изготовлены мишени $\text{In}_2\text{O}_3 + 10\% \text{SnO}_2$ с размерами частиц 5; 10; 15; 20; 30 и 40 мкм. Температура спекания составляла 1500 °С. При этом удельное объемное сопротивление мишеней составило соответственно 22,6; 17,2; 21,9; 20,0; 28,2 и 36,6 Ом·м, т.е. при размере зерен порошка 10 мкм достигается минимальное сопротивление материала мишени.

Это было подтверждено и при нанесении покрытий. Установлено, что минимальный уровень ρ_s 135 Ом/□ был получен при $1 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.ст. для мишени с размером зерен исходного порошка 10 мкм. В тоже время пропускание почти не зависело от размеров частиц порошка.

Было проведено исследование влияния температуры спекания мишени на свойства прозрачных электропроводящих покрытий. Температура спекания составляла 1100; 1200; 1300 и 1400 °С при составе мишени $\text{In}_2\text{O}_3 + 10\% \text{SnO}_2$. Установлено, что оптимальная температура спекания находится в пределах 1300 °С.

Список литературы

1. Singh V. Indium Tin Oxide (ITO) films on flexible substrates for organic light emitting diodes / V. Singh, C.K. Suman and S. Kumar // Proc. Of Thirteenth International Workshop on The Physics of Semiconductor Devices, 2006, P. 388 – 391.

Processes of synthesis of transparent electroconducting coatings by ion-beam sputtering of ceramic targets from oxide indium, tin and cerium are investigated.

Ядренцева Елена Викторовна, студентка 4 курса факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, lana290733@tut.by.

Научный руководитель – *Телеш Евгений Владимирович*, старший преподаватель, факультет компьютерного проектирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, etelesh@mail.ru.

УДК 629.33: 678.027.94

В.Ю. Яроцкий

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

От условия эксплуатации автомобильных агрегатов зависит их конструкция, применяемые материалы, соответственно и их стоимость. Применение композиционных полимерных материалов способно существенно снизить материалоемкость и стоимость.

Работоспособность и безотказность тормозной аппаратуры является одним из основополагающих фактором безопасности дорожного движения. Тормозные системы можно условно разделить на две составные части: тормозные механизмы и тормозной привод. Работа тормозных механизмов, которые размещаются в колесах и должны препятствовать их вращению, основана на использовании трения между колодками и дисками или барабанами тормозных механизмов.

Тормозной привод – это совокупность устройств, предназначенных для усиления и передачи тормозным механизмам воздействия водителя на педаль тормоза. Существует несколько типов тормозных приводов.

На грузовых автомобилях и автопоездах средней, большой и особо большой грузоподъемности применяются объемный гидравлический, пневматический и пневмогидравлический тормозные приводы [1].

В данном исследовании рассматриваются пневматические тормозные камеры для грузовых автомобилей.

Долговечность тормозных камер зависит от условий эксплуатации механизма и материалов, применяемых для его изготовления.

Условия эксплуатации грузовых автомобилей можно разделить на следующие три группы.

1 – Транспортные условия – объем и расстояния перевозок, условия обслуживания, ремонта и хранения транспортного средства.

От первой группы условий зависит общий ресурс тормозных камер, определяемый в количестве торможений, которые гарантировано

должна выдерживать тормозная камера; количестве и периодичности затормаживаний энергоаккумулятора. От массы автомобиля напрямую зависят усилия, которые должны обеспечиваться камерой и энергоаккумулятором, а соответственно и напряжения, воздействующие на детали камер. От условий эксплуатации так же зависит и конструкция тормозных камер, например камеры, устанавливаемые на военную технику, должны быть оборудованы дорогостоящим быстро растормаживающим устройством (БРУ) энергоаккумулятора.

2 – Дорожные условия – один из важнейших факторов, влияющих на эксплуатационные и технические характеристики автомобиля.

Большое значение играет то, по каким дорогам перемещается большегрузная техника. Большое количество пыли при попадании в полости камеры способно вызывать преждевременное разрушение узлов трения; уменьшение объема рабочих полостей камер. Плохое дорожное покрытие влечет за собой излишнее воздействие вибрации на механизмы автоагрегатов. Камни, вылетающие из-под колес способны вызвать деформацию и разрушение корпусных деталей.

3 – Климатические условия – температура окружающей среды, интенсивность и вид атмосферных осадков оказывают существенное влияние на долговечность и работоспособность автомобильных агрегатов. Понижение или повышение температур ведет к изменению физико-механических свойств материалов. Постоянное воздействие влаги ведет к быстрой коррозии деталей камер и выходу их из строя. В зимнее время при использовании на дорогах соляных смесей в разы увеличивает интенсивность коррозии металлических деталей, не имеющих антикоррозионной защиты. Сочетание тяжелых дорожных и климатических условий создают критические условия для работы автомобильных агрегатов [2].

Проанализировав условия эксплуатации грузовых автомобилей в различных регионах Европы, можно сформулировать следующие требования к тормозным камерам:

– работоспособность при пониженных ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) или повышенных ($+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах;

- защита внутренних полостей от пыли, песка и других абразивных частиц;
- способность корпусных элементов выдерживать ударные нагрузки;
- сопротивление воздействию влаги и агрессивных сред, которые оказывают коррозионное действие на материалы;
- работоспособность при долговременном вибрационном воздействии.

К материалам корпусных деталей тормозных камер можно предъявить следующие требования:

- относительно невысокая стоимость;
- высокая конструктивная прочность;
- высокая ударная вязкость;
- гидрофобность;
- высокая коррозионная стойкость;
- способность сохранять механические свойства при пониженных или повышенных температурах.

В настоящее время корпусные детали тормозных камер изготавливают из углеродистых и легированных сталей методами штамповки или из алюминиевых сплавов методами литья под давлением.

Последнее время интенсивное развитие получили нанокomпозиционные материалы на термопластичных матрицах.

Модифицирование термопластов и термоэластопластов конструкционного назначения полиолефинов и полиамидов, а также их смесей высокодисперсными модификаторами различной природы приводит к повышению комплекса физико-механических показателей. Что в свою очередь дает возможность применять полимерные композиционные материалы для изготовления корпусных деталей автомобильных агрегатов.

Список литературы

1. Александров, М.П. Тормозные устройства: справочник / М.П. Александров [и др.]; под общ. ред. М.П. Александрова. – М.: Машиностроение, 1985. – 213 с.

2. Высоцкий, М.В. Грузовые автомобили / М.В. Высоцкий [и др.]; под общ. ред. В.В. Осепчугова. – М.: Машиностроение, 1979. – 384 с.
3. Авдейчик, С.В. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка, В.Я. Щербы. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с.

From the conditions of operation of motor units depends on their design, materials used, respectively, and their cost. The use of composite polymeric materials can significantly reduce material consumption and cost.

Яроцкий Витольд Юрьевич, аспирант факультета инновационных технологий машиностроения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Беларусь, Гродно, sharp_gr@tut.by.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор, декан факультета инновационных технологий машиностроения, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Беларусь, Гродно, aleks@grsu.by.