



ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ



Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Академия технологических наук Украины
Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
Союз инженеров-механиков НТУ Украины «КПИ»
ООО «НПП РЕММАШ» (Украина)
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» (Украина)
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
ОАО «Ильницкий завод МСО» (Украина)
Белорусский национальный технический университет
ГНПО «Центр» НАН Беларуси
Ассоциация инженеров-трибологов России
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
Издательство «Машиностроение» (Россия)
ООО «Композит» (Россия)
Каунасский технологический университет (Литва)
Машиностроительный факультет Белградского университета (Сербия)

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

**Посвящается 100-летию со дня рождения
академика НАН Белпруси П.И. Ящерицына**

*Материалы 15-й Международной
научно-технической конференции*

(01–05 июня 2015 г., Одесская обл., Затока)

Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 01–05 июня 2015 г., Одесская обл., Затока – Киев: АТМ Украины, 2015.– 228 с.

Научные направления конференции

- Научные основы инженерии поверхности:
 - материаловедение
 - физико-химическая механика материалов
 - физикохимия контактного взаимодействия
 - износ- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя
 - функциональные покрытия и поверхности
 - технологическое управление качеством деталей машин
 - вопросы трибологии в машиностроении
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ
- Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горнометаллургической, машиностроительной промышленности и на транспорте

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2015 г.

Хейфец М.Л. Отделение физико-технических наук
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Васильев А.С. Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Клименко С.А. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

Танович Л. Белградский университет, Белград, Сербия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ В ПРОЦЕССАХ РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Для обеспечения качества ремонта деталей машин необходимо всесторонне исследовать процесс их реновации, учитывая явление *технологической наследственности*. Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают *явление переноса свойств* обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей. Это означает, что все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как окончательные характеристики деталей формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации [1–4].

Начиная с момента формирования заготовки и заканчивая приданием желаемых размеров и свойств, деталь проходит через ряд состояний, характеризуемых комплексом параметров. Любой технологический процесс приводит к изменению этих параметров и может быть представлен траекторией точки в $(n+1)$ -мерном пространстве состояний – от начального до окончательного. В любой момент времени состояние детали определяется конечным числом свойств $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$. Любое состояние при этом должно рассматриваться как результат состояний, имевших место в прошлом.

Различные траектории представляют собой различные технологические процессы и разнообразные условия последующей эксплуатации детали. Поэтому каждый процесс и конкретные условия следует рассматривать с учетом временной истории изменения параметров качества детали. Кроме того, необходимо рассматривать создаваемые технологическими процессами и наблюдаемые при эксплуатации *синергетические эффекты*, общее действие которых превышает кажущуюся сумму отдельно взятых явлений. Создание

объекта, а некоторые характерные для него зависимости одних параметров от других.

Система – совокупность определенным образом упорядоченных элементов. Взаимосвязанные и взаимодействующие между собой и внешней средой элементы объединяются в единое целое по некоторым общим признакам. Сущность системы и ее функций невозможно понять, рассматривая только свойства ее отдельных элементов и не учитывая их внутренних связей и взаимодействия с окружающей средой.

Технологические процессы, включающие совокупность разнообразных термомеханических, физико-химических, ионно-лучевых превращений, приводящих к получению материалов, заготовок, деталей машин с заданными свойствами, относятся к числу наиболее сложных систем. В качестве элементов они включают как детали, инструменты, средства оснащения и другие объекты так и реакции, явления, эффекты и другие элементарные процессы.

Системный подход к исследованию и описанию технологических процессов основан на декомпозиции системы на более простые подсистемы, взаимодействующие между собой, раздельном изучении их структуры и функций, с последующим синтезом полученных сведений. При синтезе учитывается выявленная иерархия процессов по масштабам области действия, их пространственное расположение и временная последовательность, а также *синергетические эффекты*, общее действие которых превышает кажущуюся сумму отдельно взятых воздействий.

Составляющие сложный процесс элементарные явления протекают в областях, масштабы, которых различаются от низшего (уровень атомов и молекул) до высшего (уровень технологической системы, участка или производства). Эта особенность находит отражение в иерархической структуре модели, которую целесообразно строить путем последовательного перехода в описании процесса с одного уровня на другой.

Атомный или *молекулярный уровень* описывает физико-химические процессы микрокинетики, протекающие в областях, имеющих масштаб расстояний между атомами. *Уровень частиц малого объема* описывает процессы в масштабе отдельных включений, фаз, структур и т.п. для неоднородной (негомогенной) технологической среды. Эти два уровня должны дополняться явлениями макрокинетики: тепло- и массопереноса, упругости и пластичности

в однородной (гомогенной) среде с изотропными и анизотропными свойствами. *Уровень рабочей зоны технологической системы* описывает процессы в областях, размеры которых соответствуют крупным агрегатам частиц: зонам термического влияния, деформации, диффузии, оплавления и т.п. Этот уровень учитывает характер движения потоков вещества и энергии. *Уровень технологической системы* (процесса и установки) учитывает взаимное расположение и размеры рабочих зон и элементов системы, последовательность технологических воздействий.

Модель каждого уровня содержит в свернутом виде модели более низких уровней и соотношения, описывающие переход с одного уровня на другой. Системный подход позволяет анализировать и моделировать технологический процесс, представленный в виде отдельных блоков, что существенно упрощает описание сложных явлений, не упуская из вида пространственно-временную структуру моделируемой системы, характер связи между отдельными уровнями и подсистемами.

Антонюк В.С. НТУУ України «Київський політехнічний інститут», Київ

Бондаренко М.О., Бондаренко Ю.Ю., Білокінь С.О.
Черкаський державний технологічний університет,
Черкаси, Україна

СКЛЕРОМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТОНКИХ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЇ МІКРОСКОПІЇ

Основні вимоги, що висувуються до сучасних матеріалів та тонких покриттів полягають не лише в їх функціональності, економічності та ресурсовитратності, але й у високих техніко-експлуатаційних показниках, серед яких особливе місце посідає зносостійкість. Серед існуючих методів визначення зносостійкості, особливо тонких покриттів, перспективною є склерометрія з використанням методу атомно-силової мікроскопії [1]. Метою роботи є оцінювання зносостійкості методом атомно-силової мікроскопії шляхом дряпання зразка індентором з подальшим скануванням зони деформації.

Так, після підготовки зразків та налаштування атомно-силового мікроскопу проводиться сканування досліджуваних поверхонь для вибору місця проведення трибологічного дослідження. Далі, обравши режим роботи приладу «Трибологічна лінія» визначається лінія проведення дослідження – однорідна поверхня без включень і різких перепадів рельєфу. При цьому задається зростаюче навантаження (0,3-1 мН), час навантаження (1,5–6 мс) та кількість трибологічних ліній (треків) – від 3 до 5.

Згідно залежності сили від глибини проникнення зонда, виведений на екран оцінюються механічні характеристики досліджуваних поверхонь. Після цього сканується місце проведення трибологічної лінії, внаслідок чого визначається об'єм вдавненого матеріалу та об'єм матеріалу зміщеного в навали деформації по межах лінії.

Результатом обчислення зносостійкості при постійному нормальному навантаженні на індентор служить показник обернено пропорційний повному об'єму V_0 деформованого індентором матеріалу [2]:

$$k = \frac{V_0}{V_0} = \frac{V_0}{V_s + V_c},$$

де V_s – об'єм вдавненого матеріалу, що дорівнює $V_s = S_s^{cp} \cdot L$, S_s^{cp} – середня площа перерізу видавленого матеріалу в n перерізах, перпендикулярних напрямку лінії; L – контрольна довжина лінії; V_c – об'єм матеріалу, зміщеного в бугри деформації по межах лінії, що дорівнює $V_c = S_c^{cp} \cdot L$; S_c^{cp} – середня площа перерізу зміщеного матеріалу в n перерізах, перпендикулярних напрямку лінії; $V_0 = 10^{-3}$ – еталонний об'єм матеріалу, введений для отримання безрозмірності показника k .

Таким чином, були досліджені тонкі покриття SiO_2 , HfO_2 і Au (50 нм) з використанням кремнієвих зондів за таких режимів: покриття SiO_2 склерометрія з навантаженням $6 \cdot 10^{-4}$ Н; навантаження для HfO_2 $8 \cdot 10^{-4}$ Н, для Au $5 \cdot 10^{-4}$ Н (АСМ-зображення результату склерометрії на прикладі SiO_2 з використанням кремнієвого зонду наведено на рис. 1, а результати оцінювання вищезазначених покриттів на зносостійкість – в табл. 1).

Проведенні дослідження зносостійкості тонких покриттів методом атомно-силової мікроскопії показали практичну можливість якісного оцінювання за критерієм зносостійкості тонких покриттів на різноманітних матеріалах із залученням методики склерометрії методом атомно-силової мікроскопії.

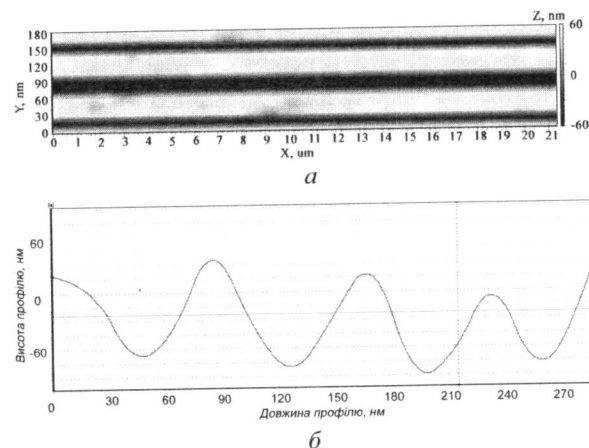


Рисунок 1 – АСМ-зображення (а) та топограма (б) результату склерометрії на тонкому покритті SiO_2 (товщиною 50 нм) з використанням кремнієвого зонду

Таблиця 1 – Результати оцінювання покриттів на зносостійкість

Матеріал покриття	Довжина треку, мкм	Середня площа перерізу видавленого матеріалу, S_s^{cp} , nm^2	Середня площа перерізу зміщеного матеріалу, S_c^{cp} , nm^2	Критерій зносостійкості, k^*
SiO_2	36	90	30	23,1
HfO_2	36	107	40	18,3
Au	36	85	11,8	28,6

* Для порівняння: критерій зносостійкості алмазу $k = 100$.

Література

- Білокінь С.О. Комплексне дослідження нанометричних елементів за допомогою атомно-силової мікроскопії / С.О. Білокінь, М.О. Бондаренко // Шевченківська весна: Мат. Доп. XII конф., 25-28 березня 2014 р., м. Київ. – Київ, 2014. – Ч. II, фіз.-мат. Науки. – С. 116.
- Білокінь С.О. Визначення фізико-механічних характеристик поверхонь виробів наноелектроніки методом склерометрії / – Вісник НТУ України «КПІ». – 2013. – Серія: Приладобудування, вип. 46. – С. 112–117.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Хейфец М.Л., Васильев А.С., Клименко С.А., Танович Л.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ В ПРОЦЕССАХ РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ	3
<i>Аксёнова Н.А. Оробінський О.В., Надтока О.В.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ФУЛЛЕРЕН- ВМИЩУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ В ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБАХ ТРАНСПОРТУ	6
<i>Акулович Л.М., Гайко. В.А., Позылова Н.М., Пынькин А.М., Зевелева Е.З.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ РЕНОВАЦИИ ИЗДЕЛИЙ	9
<i>Анисович А.Г., Бородавко В.И., Насыбулин А.Х. Хилько Д.Н.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФЕРРОПОРОШКА ПРИ НАПЛАВКЕ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД	12
<i>Анкуда С.Н., Хейфец И.М.</i> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	14
<i>Антонюк В.С., Бондаренко М.О., Бондаренко Ю.Ю., Білокінь С.О.</i> СКЛЕРОМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТОНКИХ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЇ МІКРОСКОПІЇ	17
<i>Баринов С.А., Кудряшов Б.А., Низметзянов Р.И.</i> ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	20
<i>Борко В.А., Борниковская Д.В., Зенкин А.С.</i> ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ	22
<i>Брусило Ю.В., Салімов Р. М., Лопата В.Н., Ворона Т.В.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІА- ЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧ- НИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ, СКЛАДОМ МАТЕРІАЛУ І КОНСТРУКЦІЄЮ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕДН	24
<i>Буря А.И., Калинин С.В.</i> ПОДШИПНИКИ С АНТИФРИКЦИОННЫМ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ	26

<i>Буря А.И., Томина А.-М.В., Цуй Хун, Фэн Сян-мин</i> СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА	29
<i>Бутько Т.В., Пархоменко Л.О.</i> ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ШВИДКІСНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	31
<i>Бутько Т.В., Прохорченко Г.О.</i> ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ	33
<i>Вакуленчик Я.Р., Висоцький В.В., Осипчук І.О., Піскун Я.В., Ночвай В.М., Полонський Л.Г.</i> ГАЗОПОРОШКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ЧАВУННІ ДЕТАЛІ	34
<i>Варюхно В.В., Євсюков Є.Ю., Готун О.В., Статніков Ю.Я.</i> ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗОЛОТНИКОВИХ І ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ГІДРАВЛІЧНИХ ТА ПАЛИВНИХ АГРЕГАТІВ	36
<i>Витязь П.А., Хейфец М.Л., Ильющенко А.Ф., Сенють В.Т., Черняк И.Н. Колмаков А.Г.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ШУНГИТА	39
<i>Геворкян Е.С., Мельник О.М., Мечник В.А., Бондаренко М.О., Ляшенко В.А., Кузін М.О.</i> СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ АЛМАЗ–(51Fe-32Cu-9Ni-8Sn), КОМПАКТОВАНОГО ГАРЯЧИМ ПРЕСУВАННЯМ З ПРОПУСКАННЯМ СТРУМУ	43
<i>Гермашев А.И., Дядя С.И., Козлова Е.Б., Внуков Ю.Н.</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ КОНТАКТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА С ДЕТАЛЬЮ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ	45
<i>Гранкин С.С., Немченко У.С., Турбин П.В., Столбовой В.А., Соболев О.В.</i> ФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ИОННО- ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ TiN/ZrN	48