

**МАТЕРИАЛЫ XXI СЕМИНАРА  
«МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»**

19 – 20 января 2013 г.

Редакционный совет сборника:

д.т.н., проф. Антошук С.Г. (председатель),  
д.т.н., проф. Гогунский В.Д.,  
д.т.н., проф. Нестеренко С.А.,  
к.т.н., доц. Савельева О.С. (отв. секретарь),  
д.т.н., проф. Становский А.Л.,  
д.т.н., проф. Тонконогий В.М.

Оформление и компьютерная вёрстка:

Андрюк А.В.

УПРАВЛЕНИЕ ЛАТЕНТНЫМИ РИСКАМИ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Щедров И.Н., Становский А.Л., Монова Д.А.</i>	97
УПРАВЛЕНИЕ НАНЕСЕНИЕМ НАНОПОКРЫТИЙ НА ОТЛИВКИ <i>Оборский Г.А., Прокопович И.В., Науменко Е.А.</i>	99
УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ <i>Оборский Г.А., Становский А.Л., Прокопович И.В.</i>	101
СТЕНДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРОВАННЫХ РЕЗИНОВЫХ АМОРТИЗАТОРОВ <i>Савельева О.С., Лебедева Е.Ю., Монова Д.А.</i>	104
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АРМИРОВАННЫХ РЕЗИНОВЫХ АМОРТИЗАТОРОВ <i>Лебедева Е.Ю., Красножон А.Н., Кошулян С.В.</i>	108
КОМПЕНСАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ <i>Становский А.Л., Березовская Е.И., Красножон А.Н.</i>	110
ОБОБЩЕНИЕ МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОГО ОБЪЕКТА НА РАСЧЕТЫ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ <i>Бовнегра Л.В., Бондаренко В.В., Кошулян С.В.</i>	112
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ КАК НЕСТАБИЛЬНОГО ОБЪЕКТА МОДЕЛИРОВАНИЯ <i>Прокопович И.В., Добровольская В.В., Бондаренко В.В.</i>	114
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ В ВИДЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ <i>Бажанова А.Ю.</i>	116
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСА САПР JUKOR2 <i>Корниенко Ю.В.</i>	117
ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯЗЫКА JAVA ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРФЕЙСА САПР <i>Корниенко Ю.В.</i>	118

## УПРАВЛЕНИЕ НАНЕСЕНИЕМ НАНОПОКРЫТИЙ НА ОТЛИВКИ

*Оборский Г.А., Прокопович И.В., Науменко Е.А.*

Наноматериалы – материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, обусловленными присутствием этих частиц в материале. К наноматериалам относят объекты, один из характерных размеров которых лежит в интервале от 1 до 100 нм [1]. Способы получения наноматериалов можно разделить на две группы: «сборка из атомов» и «диспергирование макроскопических материалов».

Одним из прогрессивных способов финишной обработки деталей машин являются металлические покрытия. Качество этих покрытий зависит от многих факторов, но главным из них является дефектность в виде инородных включений. Последняя сказывается практически на всех эксплуатационных свойствах и, прежде всего, надежности деталей, т.к. свойства материала, из которого состоят включения, как правило, существенно отличаются от свойств материала самого покрытия.

Наиболее ярким примером такого различия являются капельные включения металлического титана в покрытии из нитрида титана, получаемом методом конденсации в вакууме на поверхности изделия вещества из плазменной фазы с ионной бомбардировкой – методом КИБ. В этом случае небольшая капля весьма прочного и жесткого титана практически оказывается порой в сверхтвердом нитриде. Таким образом, капельная фаза в теле покрытия с точки зрения влияния на механические свойства представляет собой ту же пористость, от которой зависят почти все физико-механические свойства покрытий [2].

Причиной образования таких включений является неудачный выбор параметров технологии, приводящих к эрозии катода в вакуумной дуге, что приводит, в итоге, к образованию макрочастиц – каплей и твердых осколков металла катода в теле покрытия.

Изучение включений с помощью оптического микроскопа при больших увеличениях показывает, что частицы включений имеют округлую форму. Отклонения формы большинства частиц от сферы свидетельствует о том, что в момент удара о поверхность нанесения они находились в жидком состоянии. Частицы имеют случайные размеры 0,1... 1 мкм (при толщине покрытия порядка 6 мкм), однако встречаются и более крупные. Количество макрочастиц зависит от материала катода, тока дугового разряда, теплового режима и формы катода. Распределение количества частиц по размерам неравномерно – оно экспоненциально возрастает с уменьшением их диаметра, однако основные потери массы в капельной фазе происходят за счет частиц размером 0,2...0,5 мкм. Частицы имеют положительный заряд, обусловленный эмиссией электронов с их раскаленной поверхности [3].

Кроме жидких капель в продуктах эрозии катода дуги иногда обнаруживаются твердые осколки катодного материала. Причиной их

образования являются возникающие в катоде термоупругие напряжения, превышающие предел прочности материала катода.

По современным представлениям испускание жидких капель пятном дуги происходит при формировании на поверхности катода эрозионных кратеров [4]. Поэтому проектирование технологии КИБ включает разработку таких режимов нанесения, которые исключают образование включений. Такое проектирование, в свою очередь, нуждается в адекватной модели процесса нанесения, связывающей параметры технологии со свойствами готового изделия.

Представим себе пространство, примыкающее к поверхности подложки, которое в процессе нанесения заполняется материалом покрытия и включениями. Заполнение происходит дискретно: один элемент материала покрытия – одна ячейка дискретизации объема последнего. Будем считать потоком событий последовательное совмещение элементов с ячейками. С учетом соотношения размеров покрытий и включений, а также их конфигурации, построили схему заполнения, представляющую собой двухмерное сечение объема покрытия плоскостью, перпендикулярной поверхности и конечное множество элементов, движущихся к покрываемой поверхности со своими (в общем случае, случайными) скоростями и образующими таким образом очередь на заполнение вакантных ячеек.

#### **Литература.**

1. Наноразмерные структуры: классификация и исследование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://www.portalnano.ru/read/iInfrastructure/progn/nanostr>>. – 24.12.2013.
2. Петров С.В. Плазменное газоздушное напыление / С.В. Петров, И.Н. Карп. – К.: Наук. думка, 1993. – 494 с.
3. Тонконогий В.М. Автоматизация технологического процессу нанесения іонно-плазмових зносостійких покриттів на ріжучий інструмент: автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.13.07 "Автоматизация технологических процесів" / В.М. Тонконогий. – Одеса: ОНПУ, 2004. – 372 с.
4. Тонконогий В.М. Моделирование прочности сцепления износостойких покрытий с подложкой с помощью виртуальных конечных элементов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХПИ, 2004. – Вып. 66. – С. 191–196.