

Иващенко С.А., Комаровская В.М.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*БНТУ, г. Минск*

При формировании вакуумно-плазменных защитно-декоративных покрытий на изделия из стекла основной задачей является обеспечение максимальной адгезии покрытия с основой. Для этого необходимо очистить поверхность основы от органических и окисных пленок, а также от различных загрязнений, которые присущи обрабатываемой поверхности.

Для внутрикамерной очистки изделий из стекла используется обработка ионами инертных газов. Наиболее широкое применение получили источники с холодным катодом типа «Радикал», которыми оснащаются вакуумные установки.

Ионная обработка материалов сопровождается нагревом обрабатываемой поверхности. Повышение температуры поверхности обрабатываемого материала приводит к изменению скорости распыления [1], из-за этого сложно прогнозировать величину распыленного слоя обрабатываемой поверхности. Значительный нагрев поверхности также приводит к изменению исходных свойств материала, перераспределению напряжений и другим нежелательным явлениям [2]. Неравномерность нагрева изделия не должна приводить к возникновению напряжений, приводящих к изменению геометрической формы. Таким образом, при ионной обработке изделий из стекла необходимо контролировать температуру изделий. Это производится за счет изменения параметров и условий реализации процесса (материал основы, условия теплоотвода, продолжительность обработки, энергия ионов, плотность ионного потока).

В работе [3] проводилось экспериментальное определение температуры основы при ее обработке низкоэнергетическими ионами ( $E$  до 300 эВ). Такая обработка поверхности не всегда позволяет достичь необходимого результата (удаление прочносцепленных загрязнений, снижение шероховатости поверхности, удаление дефектного слоя, размерная обработка). Поэтому особый интерес с точки зрения ионной обработки изделий из стекла представляет высокоэнергетическая обработка (1,0–3,0 кэВ). В то же время закономерности высокоэнергетической ионной обработки многокомпонентных изделий, к каким относится стекло, изучены недостаточно.

Рост температуры поверхности при ионной обработке обусловлен тепловым потоком, воздействующим на обрабатываемые изделия.

Для определения влияния процесса ионной обработки поверхности стекла на изменение температуры основы решалась нестационарная теплопроводная задача с учетом следующих допущений (рисунок 1) – увеличение температуры основы происходит за счет:

- энергии, передаваемой поверхности ионами инертного газа ( $Ar^+$ ), при сосредоточенном ударе с учетом упругого столкновения;
- энергии, подводимой за счет теплового излучения дугового разряда.

При этом потери энергии обусловлены:

- ослаблением падающего потока отраженным;
- тепловым излучением;
- распылением частиц обрабатываемого материала.

На основании данных предположений произведен расчет температуры изделий из стекла при ионной обработке в зависимости от времени.

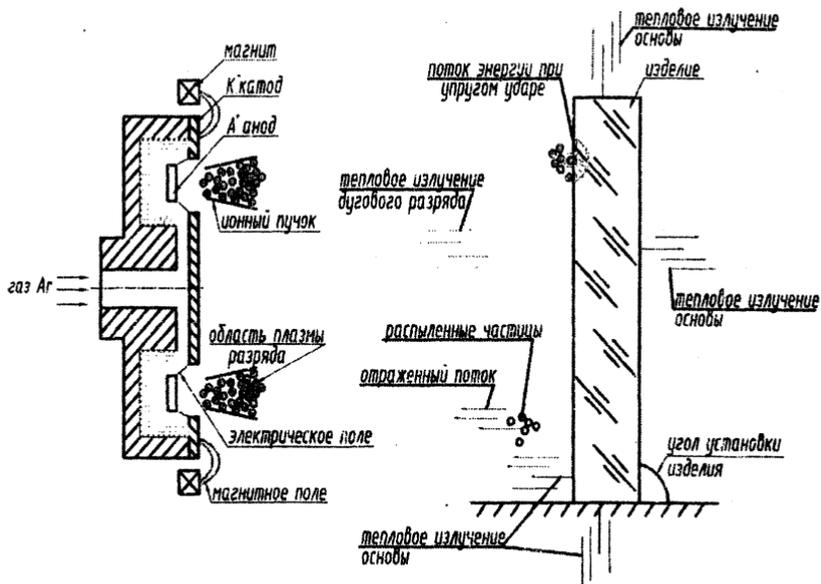
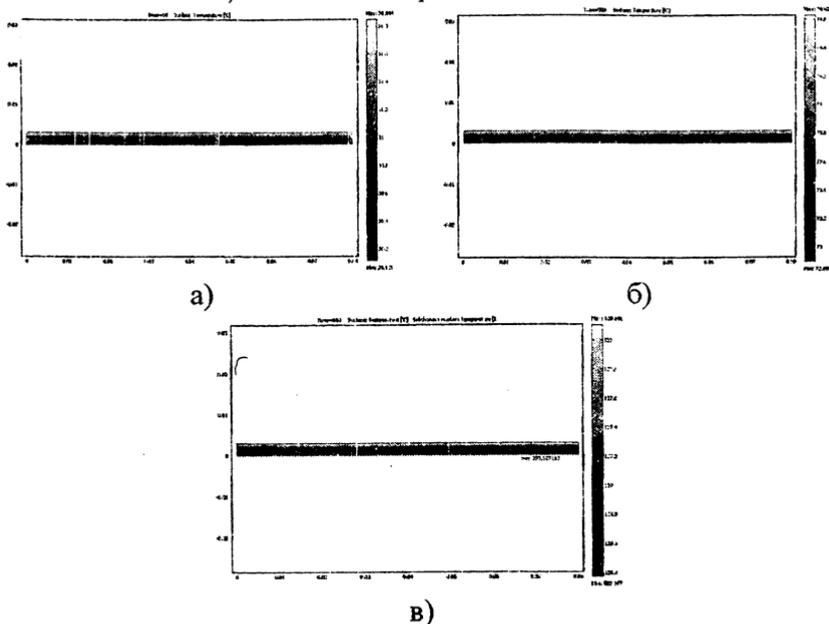


Рисунок 1 – Схема обработки поверхности изделия с использованием ионного источника типа «Радикал»

Для расчета температурных полей использован пакет прикладных программ COMSOL FEMLAB 3.1, которые позволяют создавать стационарные или нестационарные, а также линейные или нелинейные модели, соответствующие либо скалярной, либо многокомпонентной краевой задаче.

При решении PDE-задач (Partial Differential Equations), которые описывают модель, в FEMLAB применяются конечно-элементные методы расчета (FEM). Программное обеспечение пакета поддерживает конечно-элементную технологию вместе с адаптивным построением сетки и контролем ошибок при работе с различными численными решателями [5].

Полученные графики температурных полей представлены на рисунке 2.



а) после 1 минуты обработки; б) после 5 минут обработки; в) после 10 минут обработки

Рисунок 2 – Изменение температуры образца из стекла при обработке ионами аргона

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при ионной обработке стекла температура основы линейно растет с увеличением времени обработки (рисунок 2). Несмотря на то, что у стекла достаточно низкий коэффициент теплопроводности, величина температуры по сечению основы отличается незначительно ( $\approx 2-3^{\circ}\text{C}$ ) (при расчетах принята толщина основы 3 мм). Полученные расчетные значения температуры поверхности соответствуют экспериментальным данным [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой.

Вып. II: Распыление сплавов и соединений, распыление под действием электронов и нейтронов, рельеф поверхности / Под ред. Р. Бериша. – М.: Мир, 1986. – 488 с.

2. Аброян, И.А. Физические основы электронной и ионной технологии / И.А. Аброян, А.Н. Андронов, А.И. Титов. – М.: Высшая школа, 1984. – 37 с.

3. Назаров, В.Г. Исследование количественных характеристик ионного распыления поверхности стекла / В.Г. Назаров, А.М. Виноградов, Е.В. Назарова // Оптико-механическая промышленность. – 1989. – № 10. – С. 41-44.

4. Мрочек, Ж.А. Формирование наноструктурных металл-силикатных материалов вакуумно-плазменным методом / Ж.А. Мрочек [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета, Серия С, Полоцк. – 2006. – № 4. – С. 2-6.

5. Половко, А.М. MATLAB для студента / А.М. Половко, И.Н. Бутусов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 320 с.

6. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов [и др.]; под общ. ред. М.А. Окатова. – 2-е изд., переаб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.

УДК 432

Крицков И.Г. Чижевский А.М.  
**ДЫМОВЫЕ ШАШКИ**

*БНТУ, г. Минск*

В наши дни в условиях возникновения того или иного потенциально возможного военного столкновения совершенно не лишним будет наличие в вооружении широкого спектра средств защиты и маскировки. Одними из наиболее существенных и эффективных являются дымовые шашки.

Дымовые шашки по массе и размерам разделяют на три группы: малые (2-3 кг), средние (7-8 кг) и большие (до 40-50 кг). Все они выполняются в виде металлических цилиндров, заполненных твердой дымовой смесью. Шашки, используемые для