

УДК 629.4.082.3

**ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА  
ГАЗОФАЗНОГО ОСАЖДЕНИЯ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА КОНТАКТНЫЕ ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**В.В. Афонин, Ж.А. Зарандия, И.Н. Акулинин**

*Кафедра «Электрооборудование и автоматизация»,  
ГОУ ВПО «ТГТУ»; ket@nnn.tstu.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.Ф. Калининым*

**Ключевые слова и фразы:** газофазное осаждение покрытий; кинетические параметры осаждения; контактные детали электроустановок; математическое планирование эксперимента; металлургические соединения хрома; механическая износостойкость; пиролитический хром; технологические факторы; хромовые покрытия.

**Аннотация:** Раскрывается необходимость применения математического планирования эксперимента при осаждении пиролитических хромовых покрытий на контактные узлы электроустановок, которая диктуется большим числом одновременно воздействующих технологических факторов, определяющих процесс формирования покрытия, и комплексом выходных параметров, востребованных условиями эксплуатации электрического оборудования.

---

С целью получения наибольшей информации по электротехническим свойствам осаждаемых хромовых покрытий из металлоорганических соединений (МОС) на контактные детали электроустановок применялось математическое планирование эксперимента.

Общая схема планирования эксперимента состоит из следующих этапов [1, 2]:

- подготовительного (первого), который включает постановку задачи, анализ современного состояния процессов и технологии газофазного осаждения покрытий на базе хрома, изучение свойств получаемых покрытий из литературных источников и предварительных экспериментов, выбор параметра или параметров оптимизации из совокупности свойств покрытий и особенностей природы осаждения;
- второго, который связан с выбором основных технологических факторов, влияющих на параметры оптимизации;
- третьего, особенностью которого состоит в выборе математической модели и плана ее реализации. Уравнение модели называют уравнением регрессии.

В заключении производят оптимизацию процесса осаждения относительно выбранных технологических факторов.

Изучение состояния вопроса [3, 4] показало, что кинетические параметры осаждения газофазных покрытий (привес, толщина слоя, скорость осаждения) изучены недостаточно, особенно применительно к контактными соединениям. Практически отсутствует информация о физико-механических и электрических характеристиках пиролитического хрома [5].

Следовательно, задачу перед математическим планированием эксперимента, в нашем случае, можно сформулировать так: найти наиболее достоверную модель или функцию отклика, которая адекватно описывала бы процесс получения пиролитического хрома на электротехнические материалы, применяемые в контактных узлах. Эта модель должна, кроме решения оптимизационных задач, описывать физическую сущность явления химического осаждения.

В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие характеристики пиролитического хромирования: 1) привес  $Y_1$ ; 2) толщина  $Y_2$ ; 3) скорость осаждения  $Y_3$ ; 4) микротвердость  $Y_4$ ; 5) износостойкость механическая  $Y_5$ ; 6) адгезионная прочность  $Y_6$ .

Очевидно, что задача отыскания экстремальных значений не совсем оправдана, так как они определяются структурой и физико-механическими характеристиками газофазных хромовых покрытий [6]. Кроме количественных параметров покрытий исследовалась и структура.

Поэтому использование математического планирования для  $Y_1, Y_2, Y_3$  в зависимости от технологических факторов диктовалось получением кинетических зависимостей.

Априорная информация по процессам пиролитического хромирования, а также серия предварительных экспериментов на созданной установке позволила выявить следующие основные факторы, определяющие параметры оптимизации и интервалы их варьирования:

- 1) температура подложки  $X_1 - 300 \dots 500$  °C;
- 2) общее давление в реакционной камере  $X_2 - 260 \dots 1400$  Па;
- 3) температура испарителя  $X_3 - 120 \dots 280$  °C;
- 4) продолжительность осаждения  $X_4 - 10 \dots 50$  мин.

Основное требование, предъявляемое к входным параметрам, как постоянство в ходе процесса и возможность управления ими выполняется соответствующими приборами и устройствами [6].

Указанные факторы способствуют процессу осаждения независимо друг от друга.

Существенным фактором является также расход металлоорганики. Его значение определялось опытным путем и оставалось постоянным в течение всего эксперимента, равным 1 мл/мин.

Для температуры подложки верхняя граница интервала варьирования определялась температурой плавления алюминиевых сплавов, нижняя – пиролизом хромоорганической жидкости на подложке.

Интервал по давлению в реакционной камере диктовался данными предварительных экспериментов и анализом литературы.

Температурный интервал испарения МОС составил 120...280 °C.

Анализируя эксплуатационные характеристики, экономическую эффективность и данные по скорости осаждения пиролитического хрома из предварительных экспериментов, была установлена продолжительность ведения процессов осаждения от 10 до 15 мин.

Приведенный выбор входных  $X_i$  и выходных параметров  $Y_j$  для химического осаждения пиролитического хрома из МОС на контакт-детали электроустановок

позволяет с помощью математического планирования эксперимента достичь заданных результатов по эксплуатационным характеристикам с минимальным количеством экспериментов и в кратчайшие сроки, то есть максимально эффективно.

#### *Список литературы*

1. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М. : Наука, 1971. – 215 с.
2. Новик, Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металлведении / Ф.С. Новик. – М. : Моск. ин-т стали и сплавов, 1972. – Т. 1. – 102 с.
3. Металлоорганические соединения в электронике/ Г.А. Разуваев [и др.]. – М. : Наука, 1972. – 479 с.
4. Осаждение пленок и покрытий при разложении металлоорганических соединений / Б.Г. Грибов [и др.]. – М. : Наука, 1981. – 322 с.
5. Афонин, В.В. Разработка технологии получения износостойких покрытий из металлоорганических соединений на сплавах алюминия : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 : защищена 02.02.1982 : утв 23.06.1982 / Афонин Владимир Васильевич. – Москва, 1982. – 257 с.
6. Афонин, В.В. Технология повышения электротехнических параметров проводниковых материалов / В.В. Афонин, Н.П. Моторина // Составляющие научно-технического прогресса : сб. мат. III Междунар. науч.-практ. конф. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2007. – С. 103–104.

---

## **The Choice of Process Parameters of Gaseous Deposition of Chrome Coatings on Contact Parts of Electric Plants**

**V.V. Afonin, Zh.A. Zarandiya, I.N. Akulinin**

*Department "Electrical Equipment and Automation",  
TSTU; ket@nnn.tstu.ru*

**Key words and phrases:** chrome coatings; contact parts of electric plants; gas-phase deposition of coatings; kinetic parameters of deposition; mathematical planning of experiment; mechanic durability; metal organic compounds of chrome; pyrolysis chrome; technological factors.

**Abstract:** The paper reveals the need for the application of mathematical planning of the experiment at the deposition of the pyrolysis chrome coatings on the contact assemblies of the electric plants. It is caused by the influence of a great number of simultaneous factors, which determine the process of the coating formation, and the set of the output parameters, which call for the conditions of the exploitation of the electro-technical equipment.

## **Auswahl der technologischen Parameter des Prozesses der gasförmigen Fällung der Chromdeckungen auf die Kontaktdetails der elektrischen Apparaten**

**Zusammenfassung:** Es wird die Notwendigkeit der Benutzung der mathematischen Planung des Experimentes bei der Fällung der pyrolytischen Chromdeckungen auf die Kontaktknoten der elektrischen Anlagen gezeigt. Die Notwendigkeit wird von der großen Zahl der gleichzeitig wirkenden technologischen Faktoren, die das Prozess der Formierung der Deckung bestimmen, und vom Komplex der Ausgangsparameter, die von den Bedingungen der Explotation der elektrischen Anlagen abgerufen sind, diktiert.

---

## **Choix des paramètres technologiques du processus de la précipitation gazeuse des revêtements chromiques sur les pièces de contact des appareils électriques**

**Résumé:** Est montrée la nécessité de l'application de la planification mathématique de l'expérience lors de la précipitation des revêtements chromiques de pyrolyse sur les neuds de contact des appareils électriques. Cette nécessité est expliquée par un grand nombre de facteurs technologiques agissant simultanément et définissant le processus de la formation du revêtement ainsi que par un complexe de paramètres d'entrées qui sont demandés dans les conditions de l'exploitation de l'équipement électrique.

---

**Авторы:** *Афонин Владимир Васильевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматизация»; *Зарандия Жанна Александровна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматизация»; *Акулинин Игорь Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматизация»; ГОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Чернышов Владимир Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатизация правовой деятельности», ГОУ ВПО «ТГТУ».

---