

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Канд. техн. наук КОМАРОВСКАЯ В. М., докт. техн. наук, проф. ИВАЩЕНКО С. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: maratovna81@tut.by

INFLUENCE OF BASE SURFACE PREPARATION TECHNOLOGY ON PHYSICAL AND MECHANICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF ELECTRIC ARC COATINGS

KOMAROVSKAYA V. M., IVASCHENKO S. A.

Belarusian National Technical University

Проведено исследование зависимости качественных и эксплуатационных характеристик покрытий от технологических параметров процесса подготовки поверхности изделий из стекла и нанесения покрытий.

Ключевые слова: подготовка поверхности, ионная обработка, загрязнение.

Ил. 6. Библиогр.: 5 назв.

The paper investigates dependence of qualitative and operational coating properties on technological parameters pertaining to surface preparation of glass products and coating application.

Keywords: surface preparation, ion treatment, contamination.

Fig. 6. Ref.: 5 titles.

Введение. В настоящее время вакуумно-плазменные покрытия используют для повышения качества поверхности изделий в различных отраслях народного хозяйства. Это обусловлено возможностью получать принципиально новые свойства изделий, высокой чистотой технологического процесса, качеством продукции и экологической безопасностью. Однако, несмотря на довольно широкое использование вакуумно-плазменных технологий для формирования покрытий на металлические изделия, применение данных покрытий для неметаллических материалов ограничено.

В первую очередь это связано с тем, что не имеется научно обоснованных методов предварительной внекамерной и окончательной внутрикамерной подготовки поверхности, учитывающих физико-механические свойства неметаллических материалов, вид и характер загрязнений поверхности; недостаточно изучены теплофизические процессы, происходящие при подготовке поверхности из неметаллических материалов; недостаточно изучено влияние технологии подготовки поверхности на фи-

зико-механические и эксплуатационные свойства формируемых покрытий; существующая технология не позволяет получать прогнозируемые физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий. Таким образом, дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование технологий подготовки и нанесения покрытий в целях повышения качества изделий с покрытиями. Все это особенно важно для защитно-декоративных покрытий на изделиях из стекла, так как адсорбированные на поверхности загрязнения не только снижают адгезию покрытий, но и ухудшают внешний вид поверхности с покрытием. Целью данной работы является определение влияния различных методов подготовки поверхности изделий из неметаллических материалов на качество вакуумно-плазменных покрытий.

Описание исследования. В качестве объекта исследования использовали стекло марки М1 (ГОСТ 111), предназначенное для остекления строительных конструкций, средств транспорта, мебели, а также изготовления стекол с покрытиями, зеркал. Исследуемые образ-

цы представляли собой пластины размерами $80 \times 20 \times 3$ мм с исходной шероховатостью $Ra = 0,0075$ мкм. Формирование покрытий осуществляли на установке УВНИПА-1-002 модели УРМ 3.279.079, предназначенной для нанесения износостойких, упрочняющих и декоративных покрытий методом электродугового напыления. Состояние поверхности исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira и атомно-силового микроскопа Solver P47 Pro. Шероховатость поверхности определяли контактным методом на приборе Taylor Hobson. Измерения шероховатости производили при следующих параметрах: шаг – 0,08 мм; базовая длина – 10,00 мм.

На фото 1 видно, что исходная поверхность стекла имеет инородные включения в виде микро- и макроблоков неправильной формы. Данные включения образовались, по-видимому, в результате механической обработки (полировка).

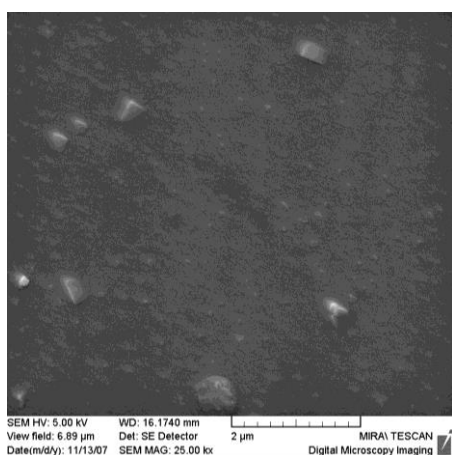


Фото 1. Исходная поверхность стекла, $\times 25000$

С помощью атомно-силовой микроскопии было выявлено, что на исходной поверхности стекла имеются микротрещины глубиной от 2 до 40 нм (фото 2, 3). Наличие микротрещин на поверхности стекла увеличивает вероятность накопления загрязнений и приводит к ускорению процесса старения. Таким образом, установлено, что исходная поверхность стекла имеет дефектное строение.

Полученные данные указывают на необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности, которая должна быть направлена не только на удаление всех загряз-

нений с поверхности, но и снижение микро-неровностей и числа дефектов поверхности. На первом этапе экспериментальных исследований изучали влияние предварительной внекамерной подготовки на качество формируемых покрытий. Для этого были подготовлены партии образцов после различных видов предварительной подготовки: партия 1 – без предварительной подготовки; партия 2 – мойка в дистиллированной воде, протирка бязью, сушка в потоке очищенного воздуха; партия 3 – мойка в дистиллированной воде, протирка салфеткой, смоченной в органическом растворителе, сушка в потоке очищенного воздуха; партия 4 – промывка в дистиллированной воде, протирка батиновой салфеткой, смоченной в воде, сушка в потоке очищенного воздуха, протирка батиновой салфеткой, смоченной спиртом-ректификатом, сушка в потоке очищенного воздуха. На образцы наносили покрытие, состоящее из подслоя Ti и рабочего слоя TiN.

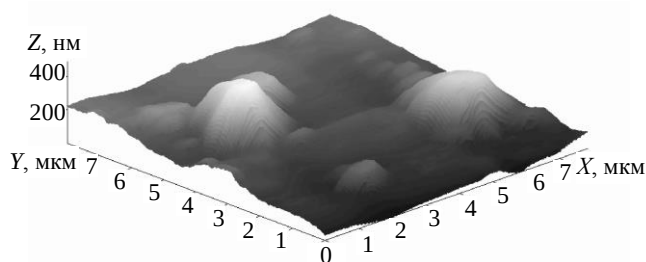


Фото 2. Реконструкция поверхности исходного стекла

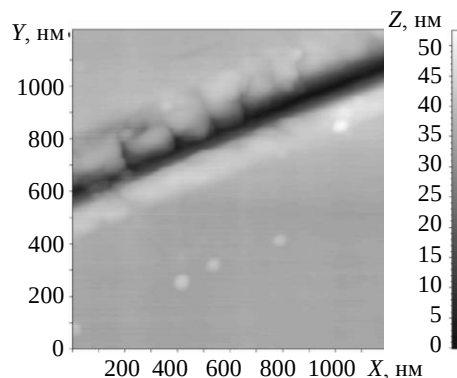


Фото 3. Микротрещина на поверхности стекла

На образцах из партии 1 (без предварительной подготовки) покрытие первоначально имело матовый неравномерный блеск. На отдельных участках поверхности сплошная пленка не образовалась. Это объясняется тем, что загрязнения неравномерно распределены по поверх-

ности, и сила связи их с поверхностью стекла различна. При протирке данных образцов фланелевой салфеткой покрытие отслаивалось. Это связано с тем, что частицы формируемого покрытия взаимодействовали с поверхностью стекла через слой загрязнений, следовательно, адгезия покрытия с основой минимальная.

Для образцов из партий 2 и 3 характерны структурные неоднородности покрытия в виде сквозных пор и пятен (фото 4).

Данные структурные неоднородности возникают из-за частичного удаления загрязнений с поверхности. В процессе формирования покрытий над загрязненными участками создается более высокое давление, чем в вакуумной камере, из-за того, что при нагреве частицы загрязнений химически разлагаются. Повышение давления над загрязненными участками препятствует нормальному осаждению покрытия, вследствие чего на данных участках снижается адгезия, уменьшается толщина покрытия, ухудшаются декоративные свойства. Также выявлено, что при неправильном хранении заготовок, когда на поверхность осаждается пыль, в покрытии появляются сквозные поры (фото 4).

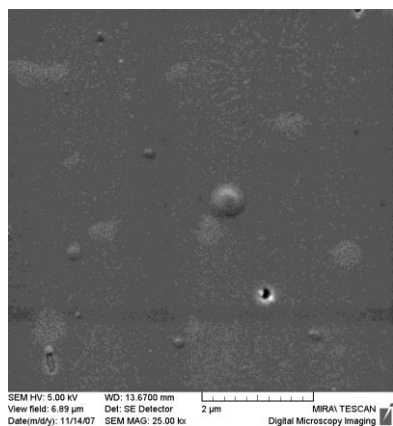


Фото 4. Поверхность образцов с покрытием из партии 3, $\times 25000$

Покрытие на образцах из партии 4 имело матовый равномерный блеск без видимых дефектов, что свидетельствует о достаточной эффективности данного метода очистки. Матовый блеск покрытий обусловлен довольно большой шероховатостью поверхности основы.

Следует отметить, что при дальнейшем хранении на воздухе образцов из партий 2, 3 и 4 на поверхности покрытия появлялись темные пят-

на, и при протирке их фланелевой салфеткой покрытие частично отслаивалось, т. е. данные покрытия обладают достаточно низкой адгезией. Данный факт указывает на необходимость проведения окончательной внутрикамерной подготовки непосредственно перед нанесением покрытия.

Исследования микрорельефа поверхности покрытия показали, что шероховатость у всех образцов практически одинаковая и составляет $Ra = 0,015\text{--}0,020$ мкм. Увеличение шероховатости покрытия по сравнению с исходной шероховатостью основы можно объяснить тем, что из-за наличия оставшихся загрязнений покрытие формируется не сплошными мономолекулярными слоями, а неравномерно по поверхности. Довольно высокая шероховатость и объясняет матовый блеск покрытия.

На втором этапе экспериментальных исследований определяли влияние ионной обработки на качество формируемых покрытий. Предварительная подготовка для всех изделий была идентична и заключалась в следующем: промывке в дистиллированной воде, протирке батистовой салфеткой, смоченной в воде, сушке в потоке очищенного воздуха, протирке батистовой салфеткой, смоченной спиртом-ректификатом, сушке в потоке очищенного воздуха.

Анализ отечественной и зарубежной литературы [1–5], а также экспериментальные исследования, проведенные авторами данной работы, позволили выявить, что наибольшее влияние на эффективность очистки при ионной обработке оказывают следующие факторы: время обработки (t), угол установки образцов относительно направления ионного потока (α). Поэтому на данном этапе исследований в качестве определяющих факторов были время t , которое варьировалось от 0 до 30 мин, и угол установки $\alpha = 0\text{--}90^\circ$. Остальные режимы обработки были постоянными: давление в вакуумной камере $p = 3,2 \cdot 10^{-2}$ Па; энергия ионов аргона (Ar^+) $E = 2$ кэВ; плотность ионного потока $j = 1,5$ мА/см².

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при недостаточном времени ионной обработки ($t < 5\text{--}7$ мин) покрытие получается матовым и с течением времени тускнеет и отслаивается. Это происходит

вследствие частичного удаления загрязнений. Оставшиеся на поверхности загрязнения препятствуют образованию прочных связей между покрытием и основой. Также данное время обработки является недостаточным для выравнивания микрорельефа поверхности. Значительная шероховатость поверхности препятствует более тщательной очистке и ведет к формированию покрытия с большой шероховатостью, а следовательно, более низкого качества. При времени ионной обработки более 15 мин ($t > 15$ мин) на поверхности увеличивается количество дефектов (микро- и макроблоки материала основы), появляются борозды (фото 5), возникающие из-за неравномерного распыления материала, а также значительно увеличивается шероховатость поверхности (при $t = 30$ мин шероховатость $Ra = 0,009\text{--}0,010$ мкм).

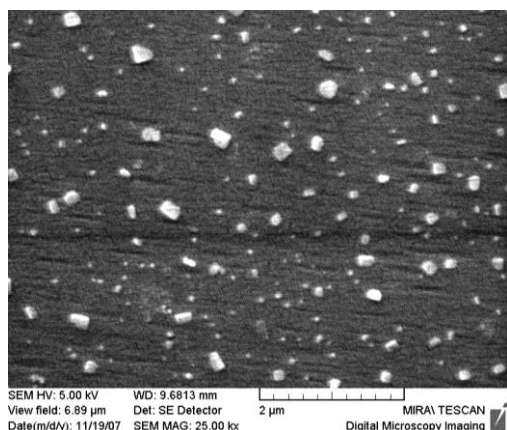


Фото 5. Поверхность стекла после ионной обработки (время обработки 30 мин), $\times 25000$

При определении влияния угла установки образцов относительно направления ионного потока на качество покрытия было выявлено, что наиболее оптимальным является $\alpha = 25^\circ$. При таком угле на поверхности образуется сплошное блестящее покрытие без видимых дефектов (фото 6) с шероховатостью поверхности $Ra = 0,0056$ мкм. Полученные результаты указывают на то, что при данных режимах ионной обработки достигается полное удаление всех загрязнений с поверхности и происходит снижение ее микрорельефа по сравнению с исходным. При увеличении угла установки до $45^\circ\text{--}50^\circ$ формируемое покрытие получается матовым, что свидетельствует об относительно большой шероховатости поверх-

ности основы. При дальнейшем увеличении α (более 50°) на поверхности образуется матовое покрытие с неравномерным блеском по поверхности. Это объясняется тем, что при таких углах не только увеличивается шероховатость основы ($Ra = 0,009\text{--}0,010$ мкм), но и распыление материала происходит неравномерно по поверхности.

На одну из партий образцов наносили покрытие без предварительной внекамерной подготовки. Время ионной очистки составляло 15 мин, а угол установки – 25° . Полученные покрытия имели матовый неравномерный блеск, на поверхности виднелись пятна темного цвета. Это связано с тем, что на поверхности стекла при отсутствии предварительной очистки находится большое количество загрязнений, для удаления которых необходимо неоправданно значительно увеличивать время ионной обработки. Следовательно, исключить этап внекамерной очистки не представляется возможным, так как это потребует дополнительных затрат.

Анализ полученных результатов дает возможность утверждать, что ионная обработка позволяет удалить все загрязнения и снизить количество дефектов исходной поверхности, что, в свою очередь, благоприятно сказывается на дальнейшем формировании покрытия.

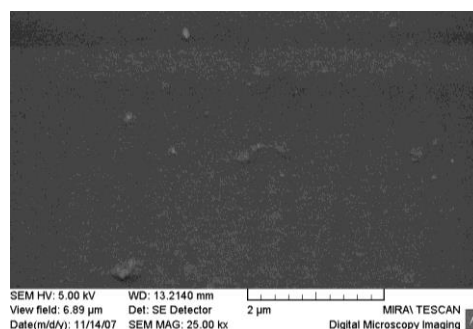


Фото 6. Поверхность стекла после ионной обработки при следующих режимах: время $t = 7$ мин; угол установки $\alpha = 25^\circ$; давление в вакуумной камере $p = 3,2 \cdot 10^{-2}$ Па; энергия ионов $E = 2$ кэВ; плотность ионного потока $j = 1,5$ мА/см²

ВЫВОДЫ

При формировании вакуумно-плазменных покрытий защитно-декоративного назначения на изделиях из стекла необходимо учитывать следующее:

1) исходная поверхность стекла имеет весьма дефектное строение;

2) технологический процесс подготовки поверхности изделий из стекла перед формированием вакуумно-плазменных покрытий должен включать две технологические операции: предварительную внекамерную и окончательную внутрикамерную обработку. Исключение какого-либо этапа подготовки приводит к формированию покрытий низкого качества;

3) установлено, что для обеспечения полного удаления всех видов загрязнений с поверхности изделий из стекла и получения минимальной шероховатости поверхности ($R_a = 0,005\text{--}0,007$ мкм) технологические параметры процесса подготовки поверхности должны быть следующими: плотность ионного потока $j = 0,8\text{--}1,2$ мА/см²; угол установки образцов относительно направления ионного потока $\alpha = 25^\circ \pm 10^\circ$; давление в вакуумной камере $p = (2,7\text{--}3,2) \cdot 10^{-2}$ Па; время обработки поверхности ионами инертного газа – не менее 5 мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилейкин, В. П. Эллипсометрическое исследование поверхности стекол после ионно-лучевой очистки / В. П. Жилейкин, Е. В. Семенов // Оптико-механическая промышленность. – 1986. – № 2. – С. 28–33.
2. Шехтман, С. Р. Метод ионно-плазменной очистки и осаждения покрытий на детали ГТД с использованием разряда на основе эффекта полого катода: автореф. ... канд. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01 / С. Р. Шехтман; Рос. акад. наук. – Уфа, 1999. – 16 с.

3. Исследование влияния режимов ионно-плазменной обработки на шероховатость подложек из кварца, поликора и ситалла / В. М. Ветошкин [и др.] // Вакуумная техника и технология. – 2008. – Т. 18, № 2. – С. 81–85.

4. Черезова, Л. А. Модификация поверхности оптических материалов ионной и ионно-химической обработкой / Л. А. Черезова // Оптический журнал. – 2000. – Т. 67, № 10. – С. 3–8.

5. Габович, М. Д. Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей / М. Д. Габович, Н. В. Плешивцев, Н. Н. Семашко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.

REFERENCES

1. Zhileikin, V. P., & Semenov, E. V. (1986) Ellipsometric Investigations of Glass Surface After Ion-Beam Purification. *Optiko-Mekhanicheskaya Promyshlennost [Optico-Mechanical Engineering]*, 2, 28–33.
2. Shekhtman, S. R. (1999) *Method of Ion-Plasma Purification and Coating Deposition on GTE Parts While Using Discharge on the Basis of Hollow Cathode Effect*. Candidate tech. sci. diss. Ufa, Russian Academy of Science.
3. Vetoshkin, V. M., Krylov, P. N., Krylov, P. N., & Romanov, E. A. (2008) Investigations of Ion-Plasma Treatment Mode Influence on Roughness of Quartz, Polycor and Glass-Ceramic Base Layers. *Vakuumnaya Tekhnika i Tekhnologiya [Vacuum Engineering and Technology]*, 18 (2), 81–85.
4. Cherezova, L. A. (2000) Modification of Optical Material Surface by Ion and Ion-chemical Treatment. *Optichesky Zhurnal [Optical Journal]*, 67 (10), 3–8.
5. Gabovich, M. D., Pleshivtsev, N. V., & Semashko, N. N. (1986) *Ion and Atom Beams for Controlled Thermonuclear Fusion and Technological Purposes*. Moscow: Energoatomizdat.

Поступила 10.01.2014