

4,5 МПа. После нанесения а-С:Н:SiO_x плёнки твердость, при той же нагрузке на индентор, повысилась до 15 ГПа, а модуль упругости снизился до 152 ГПа. Соответственно Н/Е и Н³/Е² составили 0,099 и 146 МПа. Трибологические испытания проводились с использованием трибометра производства Франции в геометрии шар-диск. В качестве контртела использовался шарик из сплава ВК-8 диаметром 6 мм. Испытания проводились при комнатной температуре 25±3°C и относительной влажности 50±10%. Скорость вращения диска составляла 25 мм/с, нагрузка 3 Н. Было показано, что нанесение а-С:Н:SiO_x плёнки приводит к снижению скорости износа с 3,7·10⁻⁵ мм³/Н·м до 7,9·10⁻⁷ мм³/Н·м, а также коэффициента трения с 0,72 до менее 0,08.

Таким образом, было показано, что нанесение а-С:Н:SiO_x плёнки на нержавеющую сталь марки AISI 316L приводит к повышению ее механических и трибологических свойств, что важно при использовании в медицинских имплантатах. Результаты медико-биологических исследований данных плёнок будут приводиться в следующих работах.

Список литературы

1. Meskinis S. and Tamuleviciene A. Structure, Properties and Applications of Diamond Like Nanocomposite (SiO_x Containing DLC) Films: A Review // Materials science. – 2011. – V. 17. – №4. – P. 358-370.
2. Koshigan K., Mangolini F., McClimon J.B. et al Understanding the Hydrogen and Oxygen Gas Pressure Dependence of the Tribological Properties of Silicon Oxide-Doped Hydrogenated Amorphous Carbon Coatings // Carbon. – 2015. – V. 93. – P. 851-860.
3. Pimenov S.M., Zavedeev E.V., Arutyunyan N.R., Presniakov M.Yu., Zilova O.S., Shupegin M.L., Jaeggi B., Neuenschwander B. // Femtosecond-laser-ablation induced transformations in the structure and surface properties of diamond-like nanocomposite films // Applied Surface Science. – 2020. – V. 509. – Article ID 144907.
4. Bociaga D., Sobczyk-Guzenda A., Szymanski W. et al. / Mechanical properties, chemical analysis and evaluation of antimicrobial response of Si-DLC coatings fabricated on AISI 316 LVM substrate by a multi-target DC-RF magnetron sputtering method for potential biomedical applications // Applied Surface Science. – 2017. – V. 417. – P. 23-33.
5. Bociaga D., Kaminska M., Sobczyk-Guzenda A. et al. / Surface properties and biological behaviour of Si-DLC coatings fabricated by a multi-target DC-RF magnetron sputtering method for medical applications // Diamond and Related Materials. – 2016. – V. 67. – P. 41-50.
6. Okpalugo T.I.T., Murphy H., Ogwu A.A. et al. / Human Microvascular Endothelial Cellular Interaction With Atomic N-Doped DLC Compared With Si-Doped DLC Thin Films // HUMAN MICROVASCULAR ENDOTHELIAL CELLULAR INTERACTION. – 2006. – P. 222-229.
7. Grenadyorov A.S., Solovyev A.A., Oskomov K.V., Oskirko V.O. / Effect of the plasma confinement on properties of a-C:H:SiO_x films grown by plasma enhanced chemical vapor deposition // Journal of Vacuum Science & Technology A. – 2019. – V. 37. – P. 061512.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ГУЙЛИНЬ МА¹, Б.С. ЗЕНИН¹

¹ Томский политехнический университет

E-mail: maguilin1996@gmail.com

При напылении возникает взаимодействие между напыляемыми частицами и поверхностью основы (адгезия) и между напыляемыми частицами и частицами уже нанесенного слоя (когезия). В настоящее время нет единого термина, оценивающего силу

связи между основным металлом и покрытием, отнесенную к единице их общей поверхности. Наиболее часто для оценки прочности используют такие понятия, как «адгезия», «адгезионная прочность», «прочность сцепления покрытия с основой», «адгезионная прочность соединения с основой». Такая неопределенность в терминологии для одной из важнейших характеристик покрытия порождает неоднозначное толкование данных как в специальной литературе, так и в технологической документации при исследовании свойств покрытий в производственных условиях [1].

Более правильным термином, оценивающим удельную силу связи между покрытием и основой, является «прочность сцепления покрытия с основным металлом», или прочность сцепления. Соответственно, прочность покрытия пропорциональна его адгезионной и когезионной прочности. Разрушение покрытия может происходить, если внешние нагрузки или остаточные напряжения превысят его прочность. В случае превышения адгезионной прочности будет иметь место отслоение покрытия, когезионной прочности – растрескивание или отделение слоев покрытия.

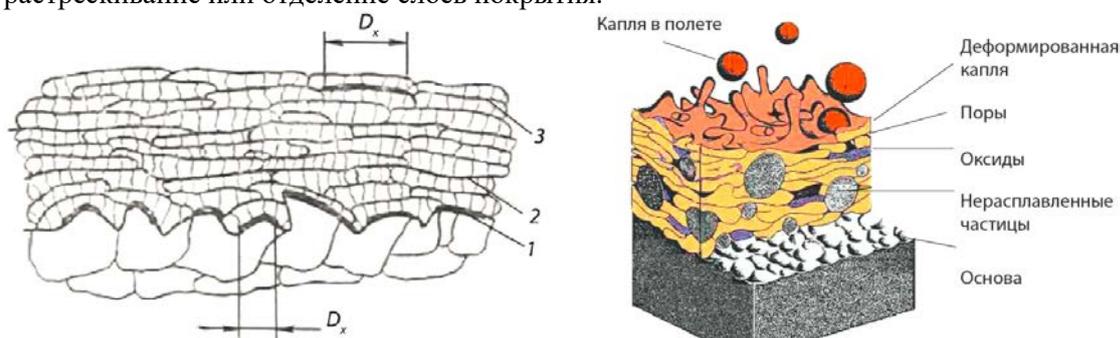


Рисунок 1 – Схема структуры покрытия (слева) и формирования покрытия (справа):
1 – граница между покрытием и подложкой; 2 – граница между слоями; 3 – граница (контактная поверхность между частицами; D_x – диаметр участка контакта, на котором произошло приваривание частицы)

Формирования прочного контакта при газотермическом напылении определяющей является стадия процесса химического взаимодействия, обусловленная физическим контактом при ударе и деформации частиц. Прочность сцепления (адгезионная и когезионная) определяется температурой частиц, скоростью давлением и зоне контакта) и длительностью химического взаимодействия. Исходя из кинетики топохимических реакций, скорость образования химических связей в напыленном контакте можно записать в виде

$$\frac{\sigma(T_k, \tau_0)}{\sigma(\max)} = -\exp \left[-\frac{\nu \tau_0}{\exp \left(\frac{E_a}{kT_k} \right)} \right]$$

где $\sigma(\max)$ – максимально возможная прочность сцепления при напылении данной пары материалов, определяющая уровень нормирования; $\sigma(T_k, \tau_0)$ – реальная прочность сцепления, достигнутая за время; T_k – температура в зоне контакта, K ; ν – максимальная частота колебаний атомов твёрдого тела (зависит от температуры Дебая), E_a – энергия активации, который следует преодолеть энергетические барьеры.

Ниже использованы формулы относительной адгезии для расчета прочности сцепления покрытия с основой. Рассмотрены адгезии и когезии для разных систем металл-металл и металл-сталь 20 и сравнены их величины прочности сцепления с помощью теоретического расчета.

Согласно предыдущему исследованию для системы Ni-Ст20, из рисунка 2 видно, что при скорости 300 м/с большие количества напыляемых частиц могут участвовать в реакции

и получать высокое качественное покрытие и лучшую относительную адгезию. Следующие условия реакции: скорость напыляемых частиц 300 м/с и температура подложки 300 К. Выбраны заданные металлические частицы: Zn, Al, Cu, Ni, Mo, W и подложка Ст20. изучены и сравнены их степени реакции для разных систем (металл-металл и металл-сталь 20).

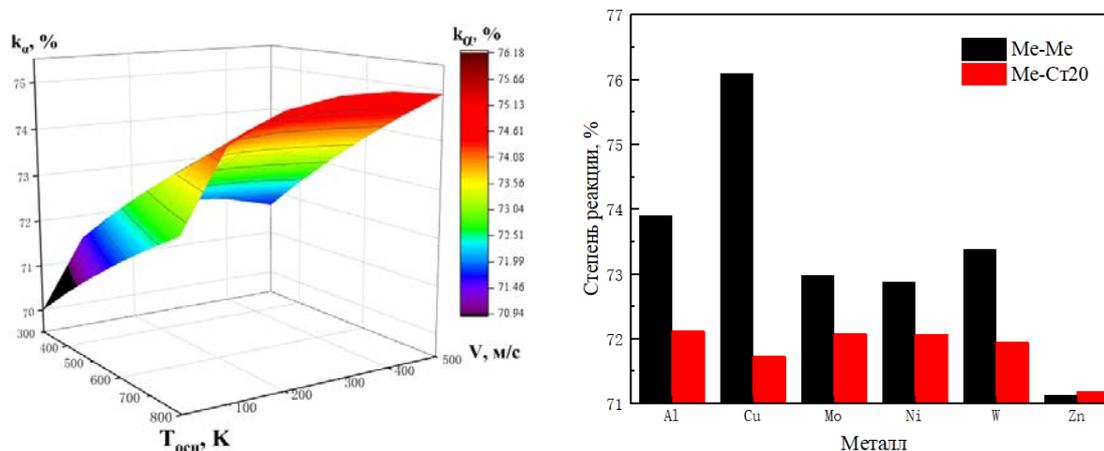


Рисунок 2 – Трехмерное изображение Ni-Ст20 и сравнительная гистограмма степени реакции для разных систем металл-металл и металл-сталь 20

Список литературы

1. Коробов, Ю.С., Анализ свойств газотермических покрытий: в двух частях: Часть 2. Оценка параметров покрытий: учебное пособие. – Е.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. – 92с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРОФИЛЬНОСТИ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ ПОСЛЕ СТЕРИЛИЗАЦИИ γ -ЛУЧАМИ

Н.М. ИВАНОВА¹, Е.О. ФИЛИППОВА¹

¹ Томский политехнический университет

E-mail: ivanovanina91@mail.ru

Разработка материалов, биосовместимых с живой тканью организма на сегодняшний день является уникальным направлением. Благодаря своей способности к деградации в организме человека и высокой биосовместимости полимолочная кислота (ПМК), получила широкое распространение в области медицины и офтальмологии в качестве подложек и скаффолдов для доставки и высвобождения лекарств, предназначенных для регенерации тканей роговицы [1]. На сегодняшний день, ПМК рассматривается в роли кератоимплантата для лечения буллезной кератопатии. В основе заболевания лежит повреждение эндотелиального слоя роговицы, гидратация стромы, и, как следствие, нарушение прозрачности роговой оболочки и снижение зрения [2].

Однако, системы и имплантаты изготовленные на основе ПМК обладают рядом недостатков, таких как гидрофобность и низкая поверхностная энергия, что обуславливает плохую смачиваемость и ограничивает их применение. Наиболее простым решением данной проблемы является модифицирование поверхности полимеров атмосферной низкотемпературной плазмой, которая позволяет безопасно и эффективно изменить