

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СОВМЕСТНО С НАНЕСЕНИЕМ PVD/CVD ПОКРЫТИЙ

В данной статье рассмотрены некоторые перспективные возможности совместного использования традиционной химико-термической обработки и технологий получения наноструктурных PVD/CVD покрытий для повышения износостойкости и жаростойкости конструкционных материалов.

Инженерия поверхности деталей машин является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений современного материаловедения. Оно включает инновационные и традиционные способы обработки поверхности деталей, которые создают на ней композиционный материал, отличный от составных материалов по структуре и свойствам. Приоритетным направлением инженерии поверхности является создание функциональных наноструктурированных покрытий с использованием вакуумных ионно-плазменных технологий [1–3]. Наноструктурированные покрытия на базе Ti-N активно применяются на практике в разнообразных областях техники. Технологии получения покрытий позволяют получать на поверхности изделия практически любые материалы, а толщины покрытий охватывают не менее четырех порядков значений.

Наряду с высоким научным интересом к вакуумным наноструктурированным покрытиям и функциональным слоям на их основе, многие исследователи отмечают, что технико-экономический потенциал их применения еще не реализован полностью. Так, использование наноструктурированных PVD/CVD покрытий для повышения износостойкости и жаростойкости конструкционных материалов ограничивается многими факторами.

Использование указанных покрытий для повышения износостойкости и жаростойкости изделий из конструкционных сплавов зачастую ограничивается механическими характеристиками материала основы, величина которых значительно ниже аналогичных для покрытий [4–6]. Важность фактора подложки в формировании механических свойств поверхностей с покрытиями подтверждается многочисленными исследованиями. Достоверно установлено влияние подложки на дюрометрические и трибологические свойства покрытий, стойкость поверхностей с покрытиями в условиях воздействия агрессивных сред и высоких температур [4]. Авторский опыт свидетельствует о том, что предварительная упрочняющая обработка основы из конструкционной стали позволяет до 7 раз повысить микротвердость, до 2,5 раз износостойкость и поверхности с вакуумным покрытием [6]. Кроме того, модифицированием основы можно достичь существенного повышения адгезии покрытий и коррозионной стойкости поверхности с покрытием, так как, несмотря на свою химическую инертность, PVD покрытия зачастую не обладают достаточными защитными свойствами от коррозии и высокотемпературного окисления, что обусловлено их пористостью. Установлено, что влияние упрочнения металлической основы в результате предварительного модифицирования и нанесения PVD покрытия на интегральные свойства рабочей поверхности не является аддитивным, а носит скорее мультипликативный характер [5].

В этой связи в литературе стало появляться все больше информации об использовании комплексных способов поверхностной обработки, включающей предварительное модифицирование основы и последующее нанесение покрытия. В качестве предварительной обработки основы используются термическая обработка, обработка давлением, ультразвуковая обработка, лазерная обработка, термомеханическая и химико-термическая обработка. Из всех перечисленных одним из наибольших потенциалов для повышения износостойкости и жаростойкости конструкционных материалов, в том числе в составе поверхностных слоистых композиций, обладает химико-термическая

обработка (ХТО). Ее преимущество заключается в исследованности процессов насыщения практически любыми элементами, многообразии используемых элементов и средств, получаемых свойств упрочненных слоев при известных режимах обработки, широкой распространенности [7, 8]. Для использования ХТО вкупе с нанесением PVD/CVD покрытий следует выделить ее некоторые возможности:

- формирование необходимого химического состава поверхностного слоя;
- структурообразование поверхностных слоев в заданном направлении;
- повышение механических характеристик поверхности;
- повышение стойкости к агрессивным средам, стойкости к окислению при высоких температурах;
- создание адгезионного подслоя для покрытия и другие.

Таким образом, технологии получения вакуумных функциональных PVD/CVD покрытий и химико-термическая обработка дают в сочетании целый набор обработок, исследование которых представляется перспективной научной задачей.

В достаточной степени изученными способами предварительной обработки основы с точки зрения механических свойств являются азотирование и нитроцементация, в меньшей степени цементация и многокомпонентное насыщение, в том числе при высокоэнергетическом воздействии. Вместе с этим перспективными способами предварительной термодиффузионной обработки являются борирование, алитирование, силицирование, борохромирование и другие [7]. Указанные способы ХТО позволяют существенно расширить возможности многослойных систем на базе наноструктурированных покрытий, а также получать на поверхности упрочняемых изделий уровень интегральных свойств, не достижимый в отдельности ни традиционной ХТО, ни вакуумными ионно-плазменными технологиями.

Таким образом, получение новых многослойных покрытий и синтез новых полифункциональных композитов методами термодиффузионного упрочнения и контролируемого магнетронного осаждения вместе с подготовкой соответствующей теоретической базы и прохождением всесторонней апробации и унификации позволят открыть новые возможности для повышения технико-экономических показателей ответственных деталей, от которых требуется высокая жаростойкость, высокий уровень трибологических свойств.

#### Список литературы

1. Komarov, F.F. Formation and characterization of nanostructured composite coatings based on the TiN phase. / F.F. Komarov, S.V. Konstantinov, A.D. Pogrebnyak, V.V. Pilko, C. Kozak, M. Opielak // Acta Physica Polonica A., 2014. – V. 20. – P. 1292–1295.
2. Pogrebnyak, A.D. Effect of thermal treatment on the structure and mechanical properties of coatings based on (Ti, Hf, Nb, Si)N. / A.D. Pogrebnyak, F.F. Komarov, O.V. Sobol, A.Sh. Kaverina, A.P. Shypylenko, C. Karwat // Acta Physica Polonica, 2014. – V. 125. – No. 6. – P. 1312–1315.
3. Комаров, Ф.Ф. Формирование наноструктурированных покрытий TiAlN, TiCrN, TiSiN методом реактивного магнетронного осаждения. / Ф.Ф. Комаров, С.В. Константинов, В.В. Пилько // Трение и износ, 2014. – Т. 35. – № 3. – С. 293–303.
4. Ковальчук, А.В. Фактор подложки в формировании свойств PVD покрытий / А.В. Ковальчук, С.В. Константинов // Теоретические и практические проблемы развития современной науки : сборник материалов 6-й междунар. науч.-практ. конф., 30 ноября 2014 г. – Махачкала : Апробация, 2014. – С. 42–44.
5. Ковальчук, А.В. Методический подход к созданию топокомпозиата триботехнического назначения «сталь – PVD покрытие» / А.В. Ковальчук, Г.А. Ткаченко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сборник научных трудов : в 3 кн. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2014. – Книга 1. – С. 164–174.

6. Комаров, Ф.Ф. Получение и свойства покрытий TiAlN на стали / Ф.Ф. Комаров, А.В. Ковальчук, С.В. Константинов, В.В. Пилько // Ползуновский альманах. – 2014. – № 2. – С. 10–15.
7. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2013. – 672 с.
8. Дашкевич, В.Г. Эффективные технологии поверхностной обработки изделий из стали / В.Г. Дашкевич, Г.В. Стасевич, А.В. Ковальчук, В.Г. Щербаков, Д.В. Гегеня // Научно-технические технологии и инновации : сборник докладов Юбилейной Международ. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 4. – С. 229–233.

This article describes some promising opportunities for joint use of traditional chemical-thermal processing technologies and the production of nanostructured PVD/CVD coatings to improve wear resistance and heat resistance of structural materials.

*Константинов В.М.*, зав. кафедрой «Материаловедение в машиностроении» БНТУ, д-р техн. наук, профессор, Минск, Беларусь, e-mail: v\_m\_konst@mail.ru  
*Ковальчук А.В.*, аспирант кафедры «Материаловедение в машиностроении» БНТУ, Минск, Беларусь, e-mail: a-v-kov@yandex.com