

0,6 МПа без приложения УЗ колебаний, составила 1255 кг/м<sup>3</sup>, что существенно ниже в сравнении с плотностью прессованных образцов в условиях УЗ колебаний (таблица). Введение в состав ПТФЭ более 30 мас. % его регенерата отрицательно сказывается на плотности полученных образцов, что проявляется в пористости образцов. Причиной этого эффекта может быть увеличение доли дисперсных частиц неправильной формы характерных для регенерированного сырья.

### Литература

1. Лесун, А. Н. Технологические особенности рециклинга промышленных отходов переработки политетрафторэтилена / А. Н. Лесун, А. А. Скаскевич, В. А. Кочерова // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2016. – Т. 6. – № 2. – С. 66–72.

2. Mechanisms for the Formation of Anti-Based Coating Fluorinated Polymer-oligomeric Composition / Y. Auchynnika, S. Avdeychik, A. Antonov, A. Skaskevich, V. Kravchenko // Mechanika 2015: 20th International Scientific Conference. – Kaunas : 2015. – С. 23–28.

**А. А. Шанчук**

(ГрГУ имени Я. Купалы, Гродно)

Науч. рук. **Е. В. Овчинников**, д-р техн. наук, доцент

## **МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ КАРБОНИТРИДА ХРОМА**

### Введение

Тенденцией последнего десятилетия является тренд увеличение работоспособности изделий и технологической оснастки, используемой при металлообработке путем применения покрытий на базе карбонитрида хрома, нитрида хрома, карбида хрома, получаемые различными технологическими приемами в вакууме. Метод осаждения материала путем плазменной ионной бомбардировки поверхностных слоев подложки (КИБ) является одним из основных технологических подходов, применяемых для создания защитных слоев в промышленности. Требование к повышенной прочности конструктивных компонентов, используемых в сложных условиях эксплуатации, привело к развитию исследований в области создания материалов для покрытий, обладающих высокой твердостью и обеспечивающих большую

износостойкость. Благодаря своим уникальным характеристикам в трибологии, покрытия на основе соединений хрома получили широкое распространение в различных областях промышленности. В частности, в машиностроении данные покрытия наносят на различные компоненты: шестерни, кулачки токарных патронов, различные компоненты трансмиссии. Для повышения физико-механических характеристик вакуумных покрытий применяется обработка изделия с покрытием в криогенной среде. Применение данного технологического приема позволяет увеличить прочностные характеристики исходных вакуумных покрытий на 20-30 %. Одним из факторов, исходя из которых, можно оценить стойкость вакуумных покрытий является морфология поверхностей разрушения и частиц, получаемых при внедрении индентора в поверхностные слои модифицированного образца.

Целью данной работы является исследование поверхностей разрушения вакуумных покрытий, подвергнутых воздействию криогенных температур.

#### **Методика исследований**

В качестве объектов исследований использовали покрытия карбонитрида хрома. Данные покрытия осаждали на поверхности стальных подложек. В качестве металлических субстратов применяли сталь 40Х. Для получения качественных покрытий применяли специальную подготовку подложки, заключающуюся в предварительной термообработке до получения твердости порядка 52-54 по методу Роквелла шкала С. Далее стальная подложка подвергалась полировке до 10 класса чистоты. Покрытия карбонитрида хрома получали на установке вакуумного напыления УВНИПА-1-001, оборудованной катодно-дуговым испарителем с системой электромагнитной фильтрации плазмы, а также ионным источником ИИ-4-0,15. Образцы с покрытием выдерживали в криогенной среде в течение от 30 минут до 72 часов. По технологии скретч-анализа определяли адгезионные характеристики вакуумных покрытий и формировали профиль царапины. Методом оптической микроскопии изучали морфологию получаемых следов разрушения покрытий. Для исследований использовали оптический специализированный металлографический комплекс.

#### **Результаты исследований**

При проведении исследований проводили изучение морфологии разрушения исходных вакуумных покрытий (рисунок 1 а). Далее образцы выдерживали в криогенной среде в течение 30 минут, затем их термостатировали до нормальной температуры, проводили скретч-анализ и изучали морфологию поверхности разрушения, модифици-

рованного в криогенной среде покрытия карбонитрида хрома (рисунок 1 б). По сравнению с первой царапиной видели небольшие изменения (неровности) внутри самой царапины и появление отслоек.



Рисунок 1 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа. а) исходное покрытие; б) царапина криогенно обработанная в течение 30 минут

Затем модифицированный образец подвергался обработке в криогенной среде в течение 60 минут, после чего проводили третье испытание определения адгезионной прочности царапину. Видны изменения вначале царапины, появились характерные полосы, стал немного толще край царапины.

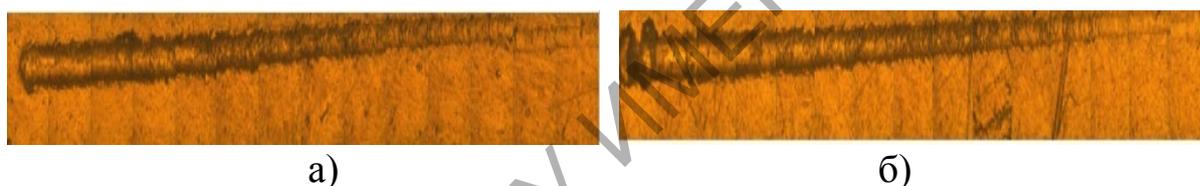


Рисунок 2 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа. а) покрытие, криогенно обработанное в течение 30 минут; б) покрытие, криогенно обработанное в течение 60 минут

Обработка покрытий в течение 180 минут приводит к заметным изменениям по всей царапине (появились выразительные отслойки); ширина царапины немного стала больше, но незначительно

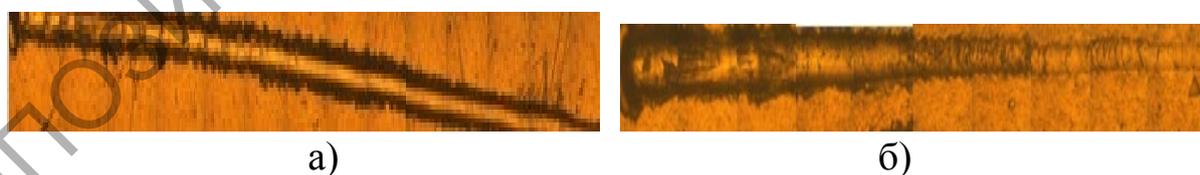


Рисунок 3 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа: а) покрытие, криогенно обработанное в течение 180 минут; б) покрытие, криогенно обработанное в течение 24 часов

Увеличение времени выдержки в криогенной среде до 24 часов приводит к изменению геометрических размеров области разрушения

покрытия. Ширина царапина стала еще больше, наблюдается толстый выразительный край, на самом материале видны микроцарапины.

Обработка в течение 72 часов в жидком азоте покрытия не приводит к существенным изменениям в морфологии поверхности разрушения. Край царапины мало отличается от предыдущего испытания, внутри наблюдаются ярко выраженные поперечные борозды.



Рисунок 4 – Фрагменты морфологии поверхности после проведения скрэтч-анализа: покрытие криогенно обработанное в течение 72 часов

### **Заключение**

Таким образом, установлено, что покрытия после обработки в криогенной среде имеют различную адгезионную стойкость. Об этом свидетельствуют геометрические и морфологические размеры области разрушения. Характерные морфологические особенности областей разрушения вакуумных покрытий зависят от продолжительности криогенной обработки.

**В. Ю. Шумская**

(ИММС НАН Беларуси, Гомель)

Науч. рук. **А. Я. Григорьев**, д-р техн. наук, профессор

## **МНОГОСЛОЙНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СРЕДСТВ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ И ПРОТИВОВИРУСНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ**

Сложившаяся в 2019–2021 гг. неординарная эпидемиологическая ситуация обусловила значительный рост внимания к средствам индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): именно на их применении основано соблюдение правил так называемого «респираторного этикета», предполагающего предохранение от вирусных инфекций, включая SARS-CoV-2 (2019-nCoV). Защита дыхательных путей человека осуществляется с помощью лицевых масок и респираторов (клапанных и бесклапанных), рабочим компонентом которых является фильтрующий слой, составленный из сорбирующего (как правило, волокнисто-пористого) материала. Последний должен быть способен