

СЕКЦИЯ 5
МЕТОДЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПЛАЗМЕННЫЕ И
РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

SECTION 5
METHODS, EQUIPMENT, PLASMA AND RADIATION
TECHNOLOGIES

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ В НАУЧНЫХ И
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ
«СКРЕТЧ-ТЕСТЕР» ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «БМЦ»**

А.Ф. Сыщенко¹⁾, Д.П. Русальский^{1), 2)}, В.В. Углов²⁾

¹⁾*Закрытое акционерное общество «БМЦ»,
ул. Фабрициуса 8/1, оф. 216, Минск 220007, Беларусь, bmc@bmc.by*

²⁾*Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, rusalsky@bsu.by, uglov@bsu.by*

Представлено использование установки для определения адгезионной прочности покрытий «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР» производства ЗАО «БМЦ» для исследования механических свойств различных защитных покрытий

Ключевые слова: защитные покрытия; адгезионная прочность; «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР».

**USING INSTALLATIONS FOR DETERMINING THE ADHESION
STRENGTH OF COATINGS IN SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL
LABORATORIES USING THE EXAMPLE OF THE
«SCRATCH TESTER» INSTALLATION PRODUCED BY ZAO «BMC»**

A.F. Syshchenko¹⁾, D.P. Rusalsky^{1), 2)}, V.V. Uglov²⁾

¹⁾*Closed Joint Stock Company «BMC»,
of. 216, 8/1, Fabritsiusa Str., 220007 Minsk, Belarus, bmc@bmc.by*

²⁾*Belarusian State University,
4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, rusalsky@bsu.by, uglov@bsu.by*

The use of the installation for determining the adhesive strength of coatings «SCRATCH-TESTER» manufactured by JCB «BMC» for studying the mechanical properties of various protective coatings is presented.

Keywords: protective coatings; adhesive strength; «SCRATCH-TESTER».

Введение

Основополагающим свойством любого защитного покрытия является прочность его сцепления с подложкой – адгезия. Без высокой адгезии к подложке любое самое выдающееся по механическим свойствам покрытие будет бесполезно. Поэтому измерение величины адгезии является кри-

тически важной задачей при исследовании различных материалов с покрытиями. Очень удобным, информативным и быстрым методом измерения адгезии является скретч-тест, основанный на методе склерометрии (испытание царапанием).

Этот метод основан на контролируемом царапании алмазным индентором на

выбранном участке образца. Наконечник индентора (обычно алмаз или карбид вольфрама) перемещается по поверхности образца с возрастающей нагрузкой. При определенной критической нагрузке покрытие начинает отрываться от подложки или разрушаться. Критическая нагрузка определяется, главным образом, при помощи оптического микроскопа по оставшейся на образце царапине с характерными признаками разрушения. Также существует возможность фиксации момента отрыва покрытия по изменению силы трения или датчиком акустическим эмиссии, причем наилучший результат дает совмещение всех трех методов [1].

В настоящей работе представлена установка для определения адгезионной прочности покрытий «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР», разработанная совместно Белорусским государственным университетом и ЗАО «БМЦ», а также результаты ее использования для тестирования различных покрытий

Описание установки и получаемые результаты

ЗАО «БМЦ» изготавливает установку «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР» для изучения адгезионной прочности покрытий, которая была разработана совместно с БГУ в 2014 году в рамках ГНТП «Эталоны и научные приборы».

Установка состоит из: столика с держателем образца; блока перемещения столика с датчиком перемещения и датчиком измерения силы трения; индентора; блока нагрузления с датчиком измерения нагрузки; блока управления, обработки и передачи данных на ПЭВМ; микроскопа с видеокамерой; ПЭВМ с программным обеспечением.

Внешний вид установки представлен на рис. 1. Установка предназначена для определения силы сцепления (адгезионная прочность) покрытия с подложкой – скретч-тест согласно ASTM C1624-22, а также для определения износостойкости материала – трибологический тест.

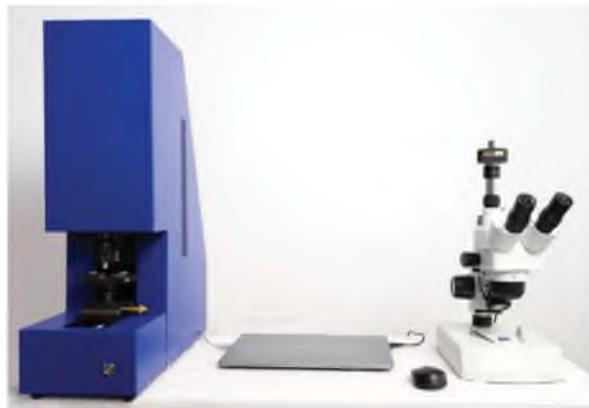


Рис. 1. Внешний вид установки «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР»

Основные технические характеристики «СКРЕТЧ-ТЕСТЕРа»: нагрузжение индентора от 0.5 Н до 150 Н с разрешением 10 мН; регистрация силы трения с разрешением 10 мН; измерение перемещения образца с разрешением 1 мкм; длина царапины от 0.1 мм до 30 мм; скорость царапания от 0.2 мм/с до 4 мм/с; длительность трибологического теста до 60 мин; алмазный индентор с радиусом закругления 0.2 мм (типа НК-1); анализ изображения царапины при помощи микроскопа с видеокамерой.

Основным объектом применения установки являются твердые упрочняющие покрытия толщиной порядка 1 мкм и выше. Ниже представлены результаты использования «СКРЕТЧ-ТЕСТЕРа» для исследования образцов с различными покрытиями.

Исследование образцов твердого сплава с двухслойными покрытиями ZrC/Ni-UDD и Cr-UDD/MoN, содержащими ультрадисперсный алмаз, показало [2, 3], что критическая нагрузка составила 26 Н и около 93 Н соответственно (рис. 2). Кроме того, анализ царапин выявил несколько стадий разрушения покрытия, главными из которых являются хрупкое изнашивание в первом случае, и когезионное разрушение во втором.

В работе [4] были проведены адгезионные испытания покрытий ZrN, осажденных на образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, предварительно обработанные компрессионными плазменными потоками

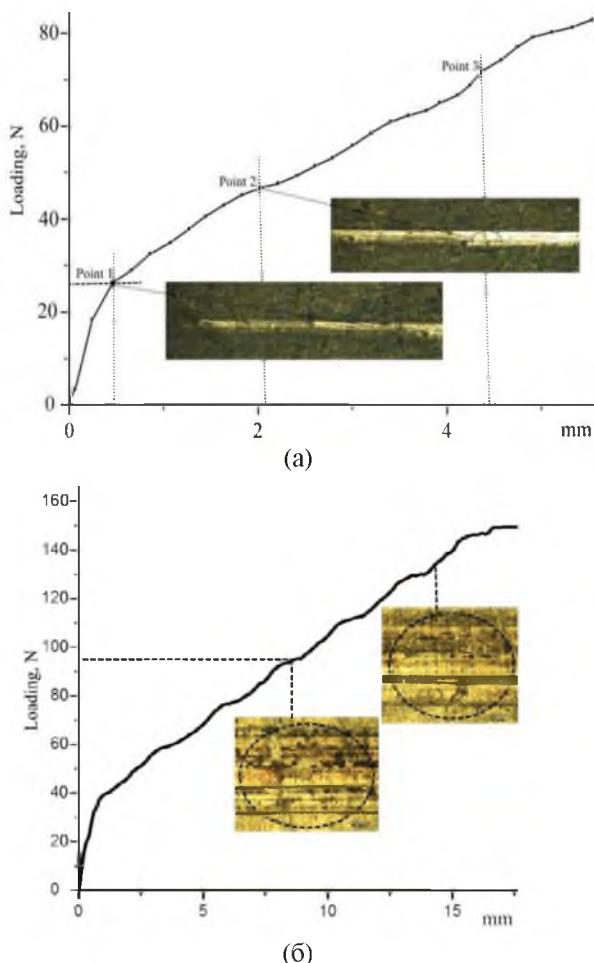


Рис. 2. График зависимости нагрузки на индентор от пути его перемещения при скретч-тесте образцов твердого сплава с покрытиями ZrC/Ni-UDD (а) и Cr-DND/MoN (б). На вставках представлены фотографии трека в выбранных местах [2, 3]

(КПП) с плотностью поглощенной энергии 26 – 37 Дж/см² и количеством импульсов 1 – 6. На рис. 3 представлены участки скретч-треков покрытий ZrN на образцах без предварительной обработки (рис. 3.а) и с предварительной КПП обработкой шестью импульсами с энергией 37 Дж/см². В результате испытаний было установлено, что предварительная КПП обработка повышает адгезионную прочность исходного покрытия (44 Н), причем наибольшее улучшение (до 137 Н) достигается при шести импульсах меньшей плотности энергии 26 Дж/см².

Исследования покрытий (Zr,Hf)N, осажденных на титановый сплав Ti-6Al-4V при различных режимах с использованием комбинированного Zr-Hf катода показала

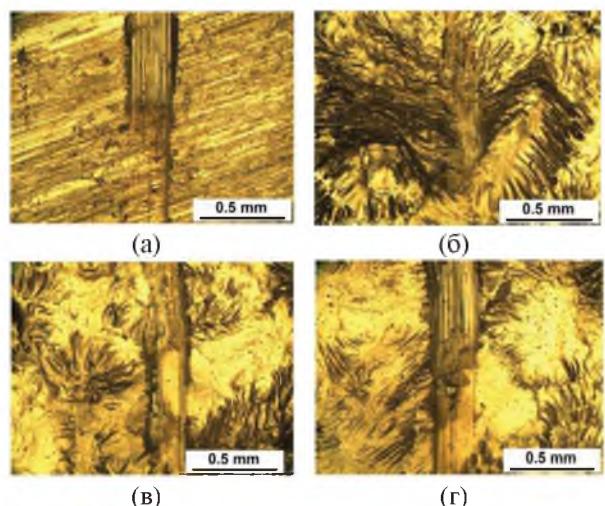


Рис. 3. Фотографии скретч-треков покрытий ZrN на образцах без предварительной обработки (а) и с предварительной КПП обработкой шестью импульсами с энергией 37 Дж/см². на расстоянии 6 (б), 8 (в) и 13 мм (г) [4]

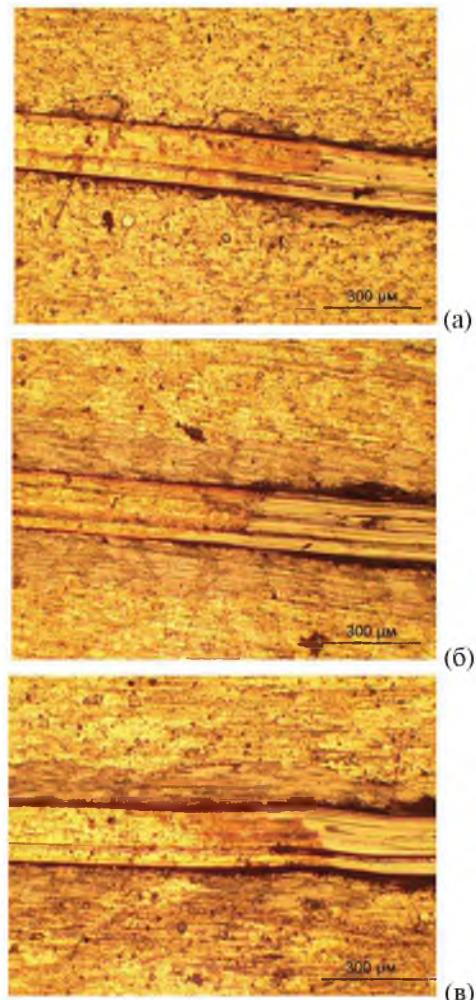


Рис. 4. Фотографии скретч-треков покрытий (Zr,Hf)N, осажденных при разных режимах в области полного отрыва покрытия [5]

величину адгезионной прочности 35 – 42 Н [5]. На рис. 4 представлены участки скретч-треков этих образцов в области полного отрыва покрытий.

Аналогичные исследования [6] сплава Ti-6Al-4V с покрытиями на основе твердых растворов Zr, Ti, Nb и Hf показали величину адгезионной прочности 24 – 54 Н.

Заключение

Таким образом, установка «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР» позволяет исследовать основополагающее свойство любого типа покрытий – адгезионную прочность. Наличие такой установки представляется весьма важным в любой научной или промышленной лаборатории, которые занимаются созданием или изучением различного типа защитных покрытий на разных материалах.

Библиографические ссылки

1. Valli J. TiN coating adhesion studies using the scratch test method. *Journal of Vacuum Science and Technology* 1985; 6: 2411-2414.
2. Chayeuiski V.V., Zhylinski V.V., Kuleshov A.K., Rusalsky D.P., Višniakov N. Tribological characteristics of ZrC/Ni-UDD and Cr-UDD/MoN coatings. In: edited by prof. J. Padgurskas Proceedings of BALTRIB'2019 (14–16 November 2019), Kaunas, Lithuania, 2019.
3. Chayeuiski V., Taleb A., Zhylinski V., Kuleshov A., Shtempliuk R. Preparation and characterization of the Cr-Nanodiamonds/MoN coatings with performant mechanical properties. *Coatings* 2022; (12): 1012.
4. Cherenda N.N., Petukh A.B., Kuleshov A.K., Rusalsky D.P., Bibik N.V., Uglov V.V., et. al. Scratch testing of ZrN coating on Ti-6Al-4V titanium alloy surface preliminary treated by compression plasma flows impact. *High Temperature Material Processes* 2024; 28(3): 25–36.
5. Grigoriev S., Cherenda N., Bublikov Yu., Milovich F., Sotova C., Basalai A., et.al. Features of (ZrHf)N coatings deposited using a Zr-Hf cathode under different parameters of the deposition process. *High Temperature Material Processes* (2025); 29(4): 17–34.
6. Cherenda N.N., Grigoriev S.N., Basalai A.V., Petukh A.B., Vereschaka A.A., Reva O.V., et. al. Comparative study of mechanical and corrosion properties of coating on the basis of ZrN and TiN solid solutions *High Temperature Material Processes* 2025; 28(3): 35–55.