

5. Gibson R. F. A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structures / R. F. Gibson. – USA, University of Nevada: Elsevier, Composite Structures, 2010.

6. Прохорова И. А. Исследование механических свойств полипропиленовых тканых лент, используемых для армирования композитов / И. А. Прохорова, М. Бккар, О. М. Иванов, В. В. Васильева // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – СПб. : СПбГУПТД. – 2019. – Т. 37, № 1. – 9 с.

7. Строкин К. О. Прогнозирование прочностных свойств композиционных материалов, армированных углеродными тканями : дис. канд. техн. наук // СПбГУПТД. – СПб., 2018. – 182 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СУПЕРГИДРОФОБНОГО ПОКРАТИЯ СТАЛИ

<sup>1</sup>Попова Т. Н., <sup>2</sup>Уколов А. И.

*Керченский государственный морской технологический университет*

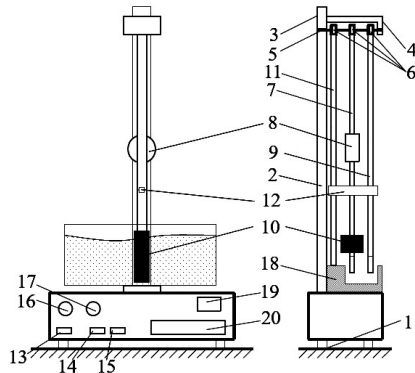
*<sup>1</sup>tanap178@gmail.com; <sup>2</sup>ukolov\_aleksei@mail.ru*

Износостойкость относится к свойству материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

В этой работе была использована установка, с помощью которой супергидрофобное (СГФ) покрытие образцов судостроительной стали марки А40S исследовалось на износостойкость в условиях, максимально приближенным к морской среде (естественная вода из Керченского пролива, создание вязкого трения образцов с вязкой средой в осциллирующем режиме – 12 ч. вынужденных колебаний / 12 ч. состояния покоя).

Установка, с помощью которой создавались вынужденные колебания образцов, разработана на основе системы двух маятников ФРМ-13 [1].

Внешний вид устройства показан на рис. 1.



**Рис. 1. Установка для создания вынужденных колебания образцов на основе системы двух маятников ФРМ13**

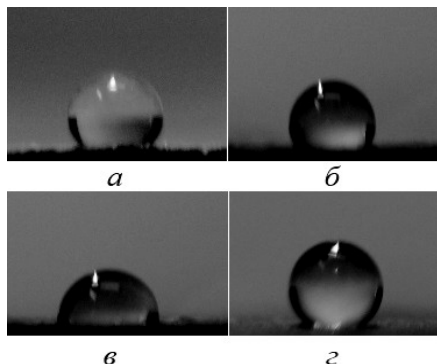
Основание 1 оснащено регулируемыми ножками, обеспечивающими выравнивание прибора. В основании закреплена колонка 2. На колонке установлены втулка 3 и кронштейн 4. На стержне 5 втулки находятся три подвески 6, на которых посредством шариковых подшипников подвешен: физический маятник 7, с регулировочным грузом 8, стержень 9, индикатор колебаний образца 10, стержень 11 – для возбуждения колебаний в данной установке. Груз 8 перемещаясь вдоль маятника 7 и фиксируясь в нужном положении, изменяет момент инерции системы, который влияет на характеристики колебаний. Маятник 7 и стержень 9 и возбудитель колебаний 11 жестко соединены друг с другом при помощи стальной пластины 12, закрепленной в специальной обойме, которую можно перемещать вдоль стержня и маятника. На лицевой панели блока управлений и измерений находятся: клавиша 13 «сеть» для включения прибора, клавиша 14 «сброс», предназначенная для сбрасывания схемы блока измерений, клавиша 15 «стоп», нажатием которой процесс измерений прекращается. Ключ 16 и регулятор 17 предназначены для возбуждения и изменения частоты вынужденных колебаний. Число и время колебаний определяются при помощи фотоэлектрического датчика 18 и фиксируются на индикаторных полях 19 и 20 универсального миллисекундомера.

Испытуемый образец совершал вынужденные колебания с амплитудой 7 см и периодом  $T = 1 \dots 1,3$  с. Ухудшение СГФ свойств поверхности оценивалось измерением угла контакта осажденной капли морской воды с интервалом в семь дней. Определение угла контакта выполнялось при помощи электронного транспортира по фотографиям капель, полученным в горизонтальном, вертикальном и фоновом освещении. На рис. 2 представлены результаты лабораторного эксперимента износа СГФ покрытия осажденного на поверхности судостроительной стали марки А40S.

Соблюдение всех условий осаждения покрытия позволило получить на поверхности судостроительной стали СГФ слой, что и подтверждалось измерением угла контакта  $\theta$  ( $\theta = 150^\circ$ ) (см. рис. 2, а). Повторение измерений в различных местах образца дало аналогичные результаты, свидетельствующие об однородности шероховатости поверхности, позволяющее добиться ее абсолютного несмачивания.

Через семь дней вынужденных колебаний образца в морской воде угол контакта уменьшался и в нижней части образца составил  $130^\circ$ . В условиях эксперимента этот фрагмент поверхности все время находился под водой. В отличие от верхней части образца, которая совпадала с ватерлинией в процессе колебаний, где совместное действие сил вязкого трения и поверхностного натяжения усилили износ СГФ

слоя, что и показали измерения  $\theta = 95,2^\circ$  (рис. 2, в). В центре образца волновое воздействие носило наименьшее влияние на величину смачивания, и угол контакта составил  $149,3^\circ$  (рис. 2, г).



**Рис. 2. Капля морской воды на поверхности стали после осаждения супергидрофобного слоя (а), и после семи дней испытаний в нижней (б), верхней (в) и центральной части (г) образца**

Сравним данные, полученные с помощью описанной установки, с исследованиями биообрастания СГФ покрытия в естественных условиях Керченского пролива. В результате нахождения под водой в течение семи дней угол контакта уменьшается и в среднем достигает значения  $\theta = 135^\circ$  [2]. Причем для разных сторон капли разброс мог составлять до  $10^\circ$ . С учетом того, что в естественных условиях образцы находились под водой при сильном волнении (средняя скорость ветра  $7,57$  м/с), можно предположить деградацию СГФ покрытия за счет активного действия волновых процессов. При этом происходит вымывание частиц диоксида кремния из полимерной матрицы, а также взаимодействие твердых частиц (песок или др.), взвешенных в воде, с поверхностью образцов. Биообрастания не наблюдались.

Таким образом, СГФ слой является действенной защитой поверхности от обрастания, но его функции быстро нарушаются под волновым влиянием морской воды. Интенсивность износа покрытия зависит от скорости потока вдоль поверхности, состава воды и наличная границы раздела вода/воздух. В целом большинство лабораторных СГФ покрытий демонстрируют сходные смачивающие свойства и устойчивость к различным испытаниям на износ, что указывает на сходную химию поверхности и адгезию покрытия на плоской поверхности.

### Литература

1. Общий вид лабораторной установки FPM-13 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.su/13\\_135489\\_opisanie-laboratornoy-ustanovki.html](https://studopedia.su/13_135489_opisanie-laboratornoy-ustanovki.html)
2. Уколов А. И. Анализ биообрастания супергидрофобной и полированной поверхности судостроительной стали в районе Керченского пролива / А. И. Уколов, Т. Н. Попова, А. В. Кулиш // Наука и образование : сб. тр. XIII Междунар. науч. конф. (Хайдусобосло, Венгрия, 4–13 января 2019 г.). – Хмельницкий : ХНУ, 2019. – С. 32–35.

## **ПРОИЗВОДСТВО КОНДИЦИОННЫХ СЛИТКОВ ИЗ ОТХОДОВ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ**

*Гречанюк И. Н.*

*НПП «Элтехмаш», г. Винница, Ватутина, 25, e-mai: eltechnic777@ukr.net*

Важность проблемы рафинирования отходов жаропрочных сплавов состоит в том, что в процессе получения лопаток из исходных материалов на предприятиях-производителях газотурбинные двигатели (ГТД) накапливается значительное количество отходов, вызванных браком литья, браком форм, наличием примесей и т.д. Таким образом отходы жаропрочных сплавов в литейном производстве представляют собой технологически неизбежный остаток исходного сплава, не вошедший в массу годных отливок. Высокая стоимость первичных жаропрочных сплавов обусловила появление тенденции использования при шихтовке плавок для литья лопаток отходов литейного производства, что позволяет снизить себестоимость продукции [1].

Свойства металлических сплавов главным образом определяются их химическим составом и содержанием в них газов и примесей. Системные исследования по рафинированию отходов жаростойких сплавов ЧС70-ВИ, ЧС 88У-ВИ для литья лопаток стационарных ГТД и ЖСЗДК-ВИ, Ж-26ВИ для литья лопаток авиационных ГТД с использованием совмещённого индукционного и электронно-лучевого нагрева выполнены в работах [2, 3].

Для рафинирования металлов и сплавов часто применяют их переплав. Материалы высокой чистоты получают путём переплава в вакууме с помощью электронного пучка. В отличие от вакуумной дуговой плавки при электронно-лучевом переплаве (ЭЛП) легко устанавливать скорость плавки и подводимую электрическую мощность не-