

REFERENCES

1. Bazhenov, S. L., A. A. Berlin, A. A. Kulkov, and V. G. Oshmján. *Polimernye kompozicionnye materialy. Prochnost i tehnologii*. M.: Intellekt, 2009.
2. Ljubin, Dzh., A. B. Geller, M. M. Gel'mont, and B. Je. Geller, editors. *Spravochnik po kompozicionnym materialam*. Trans. M.: Mashinostroenie, 1988.
3. Rosato, D. V., and K. S. Grove. *Namotka steklonitju*. M.: Mashinostroenie, 1969.
4. Beleckij, E. N., V. M. Petrov, and S. N. Bezpálchuk. "The physical-mechanical characteristics of composite plastics influence on the processes of destruction at realization of technological process of machining and extreme conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(24) (2014): 66–73.
5. Beleckij, Evgenij Nikolaevich. "Different levels of modeling of complex structures marine power plants, the individual elements of which made of composite polymer materials." *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 1(35) (2016): 138–144. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-138-144.
6. Ashkenazi, E. K., and Je. V. Ganov. *Anizotropija konstrukcionnyh materialov. Spravochnik*. L.: Mashinostroenie, 1980.
7. Gluhih, V. N. "Ploskaja zadacha teorii uprugosti dlja cilindricheski anizotropnogo tela." *Izvestija SPbLTA* 6(164) (1998): 141–145.
8. Gluhih, Vladimir Nikolaevich, Vladimir Markovich Petrov, and Natalja Jurevna Sojtu. "Determination of elasticity constants with anisotropy of properties of composite materials used for winding the responsible shell and beam structures in shipbuilding and port infrastructure." *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(36) (2016): 137–142. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-137-142.
9. Petrochenkov, R. G. *Kompozity na mineralnyh zapolniteljah*. M.: Izd-vo moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2005. Vol. 2.
10. Verzhbovsky, Gennadiy Bernardovich. "Forecasting the characteristics of composite materials based on the properties of their components." *Science Review* 7-3 (2014): 909–913.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Белецкий Евгений Николаевич —
кандидат технических наук, главный технолог.
ОАО «Концерн «НПО» Аврора»
famalien@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Beleckij Evgenij Nikolaevich —
PhD, chief technologist.
Concern Avrora Scientific and Production Association JSC
famalien@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-120-129
УДК 620.178

**В. М. Петров,
А. А. Буцанец,
С. Н. Безпальчук**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПАРЫ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИК – ТИТАН

В современном судостроении при изготовлении судовой запорной арматуры находят широкое применение новые материалы. Среди конструкционных металлических сплавов это сплавы титана, а среди композитных материалов триботехнического назначения широко используются керамика и углепластики. Сочетание этих материалов в нагруженных парах трения объясняется спецификой перекачиваемых жидких сред через элементы судовой запорной арматуры. Высокая агрессивность и температурный фактор играют решающую роль при выборе материалов. Контактующие поверхности деталей пар трения после механической обработки резанием лезвийным или абразивным режущими инструментами, сразу не

могут обеспечить надежной работы сопряжения без заедания или заклинивания. Это в первую очередь объясняется плохими триботехническими характеристиками титанового сплава. На предприятиях судостроительной отрасли применяют сравнительно дорогие и энергозатратные методы поверхностного упрочнения, связанные с ионной имплантацией примесных атомов металла, обладающих повышенной твердостью по отношению к титановому сплаву, либо используют технологические операции пластического деформирования, создающего наклеп поверхности. Сейчас появились методы лазерного упрочнения поверхности в сочетании с нанесением регулярного микрорельефа. Данным исследованиям с точки зрения повышения триботехнических свойств поверхности титановых образцов трения и посвящена предложенная статья. В статье достаточно подробно изложены основные моменты, касающиеся технологии подготовки образцов и ответных контртел, технологии нанесения регулярного микрорельефа с помощью лазера, расписана методика и режимы триботехнических испытаний и методов инструментальной оценки износа и показателей поверхностного слоя образцов трения. Полученные результаты исследований являются новыми и уточняют отдельные постулаты общей теории трения и износа относительно пары: композиционный материал (углепластик) – титановый сплав.

Ключевые слова: титановый сплав, триботехника, антифрикционный углепластик, стенды трения, параметры качества, шероховатость, регулярный микрорельеф.

Введение

Перспективными антифрикционными материалами, созданными специально для работающих в воде нагруженных подшипников скольжения, являются композитные прессовочные материалы, армированные угольными волокнами. Эти материалы обладают хорошими эксплуатационными свойствами и стабильностью геометрических размеров даже при длительном пребывании в воде и агрессивных средах. В современном судостроении, в зависимости от условий эксплуатации, широко применяют антифрикционные углепластики марок ФУТ (фенольная матрица) и УГЭТ (эпоксидная матрица) ФГУП «ЦНИИКМ “Прометей”» [1], [2]. В рамках данной статьи представлены результаты исследований углепластиков марки УГЭТ (углепластики с эпоксидной матрицей), которые эксплуатируются в условиях граничного трения при контактных давлениях до 50 МПа, скорости скольжения 0,005 – 0,5 м/с по контртелам из коррозионно-стойкой стали или титановым сплавам. Учитывая низкие скорости скольжения и высокие удельные нагрузки, можно использовать значительные преимущества эпоксидной матрицы по отношению к фенольной. Так, в частности, углепластики на эпоксидной связующей при гарантированной подаче смазывающей жидкой среды в зону трения обладают более высокой прочностью, ударостойкостью, а также незначительными внутренними напряжениями (в 2 – 3 раза ниже, чем у фенольных). Заготовки из УГЭТ могут быть изготовлены методом горячего прессования с последующей многоступенчатой механической обработкой на высокоэффективном металлообрабатывающем оборудовании — станках с числовым программным управлением и станках типа «обрабатывающий центр» [3].

Объектом исследования являются пары трения скольжения судовой запорной арматуры: композиционный углепластик УГЭТ – титановый сплав 3М. Углепластик УГЭТ изготовлен в соответствии с ТУ 5.966-11704-99, химический состав сплава 3М по ОСТ 1-92077-91.

Исходной информацией, необходимой для исследования, послужил тот факт, что титановый сплав без дополнительной поверхностной упрочняющей обработки обладает плохими антифрикционными свойствами. Более того, микротвердость поверхности трения приработанного образца из УГЭТ соизмерима с микротвердостью полированного образца из титанового сплава 3М и в пересчете на твердость этого же сплава составляет 200 – 220 НВ. Такое значение получено в результате собственных исследований оценки микротвердости и твердости углепластика УГЭТ и титанового сплава 3М на измерительно-вычислительном комплексе «Микрот» по диаграмме вдавливания алмазного индентора в поверхность образца (см. микрофотографию отпечатка УГЭТ на рис. 1) [4], [5]. При сопоставлении твердостей контактирующих поверхностей углепластик УГЭТ – титановый сплав 3М получается, что обе контактирующие поверхности имеют практически равнозначные твердости, поэтому без дополнительного упрочнения или модификации поверхности образца из титанового сплава эффективной работы трибосопряжения достичь нельзя. Изменить поверхностную

твердость образца из титанового сплава ЗМ можно путем ионной имплантации [6], механического наклепа методом нанесения регулярного микрорельефа по методике, изложенной в работах [7], [8]. Ниже представлен альтернативный метод нанесения регулярного «микрорельефа» методом зонного лазерного легирования поверхности образца из титанового сплава ЗМ.

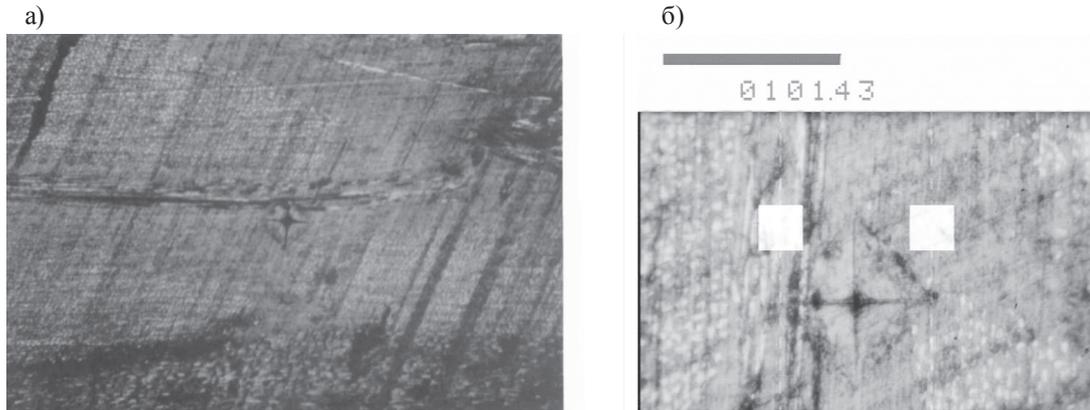


Рис. 1. Микрофотографии углепластика УГЭТ:
а — характерная поверхность вдоль следов трения (МБС 10, увеличение $\times 60$);
б — микрофотография отпечатка после вдавливания индентора в поверхность углепластика при нагрузке 0,5 Н, время выдержки под нагрузкой 30 с, шероховатость поверхности $Ra = 0,32$ мкм (измерительно-вычислительный комплекс «МИКРОТ», увеличение $\times 200$)

Цель исследования и постановка эксперимента

Объектом научного исследования являются образцы в форме роликов из титанового сплава ЗМ с нанесенным регулярным микрорельефом, работающие в паре трения с композитным углепластиком УГЭТ с применением технологической среды, имитирующей морскую воду.

Целью исследования является изучение влияния регулярного микрорельефа, нанесенного с помощью лазерной установки «Минимаркер» на функциональную способность поверхности роликов, выполненных из титанового сплава ЗМ. Данный сплав является перспективным конструкционным материалом для изготовления подвижных элементов ответственной запорной судовой арматуры.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Изготовлены образцы в виде роликов из титанового сплава ЗМ, имитирующих поверхность поворотного запорного устройства (рис. 2, *а*).
2. Изготовлены контробразцы в виде секторов-колец (контртел) из композитного углепластика УГЭТ, имитирующих контактную поверхность уплотнительного кольца в шаровом кране (рис. 2, *б*).

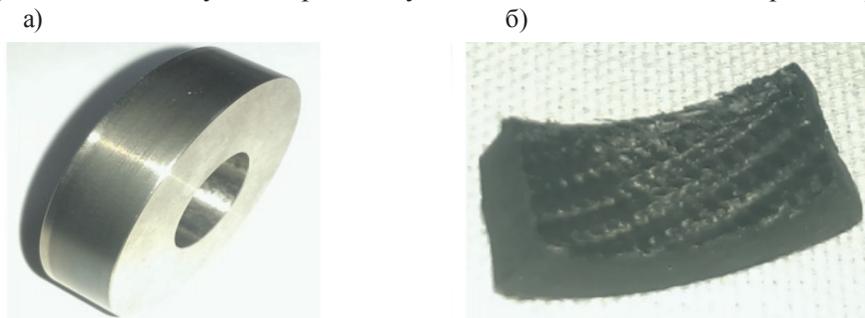


Рис. 2. Поверхность ролика без нанесенного микрорельефа после токарной механической обработки резцом диаметром 40×10 мм (*а*); сектор-колодочка из углепластика УГЭТ (образец с внутренним диаметром 40×15 мм) (*б*)

3. Разработана методика нанесения микрорельефа на образцы-ролики с дискретным шагом: 1×45 ; $1,25 \times 45$; $1,5 \times 45$ на лазерной установке «Минимаркер» (рис. 3, *а*). Для нанесения микрорельефа на поверхность роликов использовалась лазерная установка «Минимаркер» с программой Laser script editor (рис. 3, *б*). В соответствии с разработанной методикой на трех роликах был нанесен рельеф с дискретным шагом (образец № 2 — шаг 1×45 , образец № 3 — шаг $1,25 \times 45$,

образец № 4 — шаг 1,5 × 45). Базовый ролик № 1 с постоянными параметрами: частота — 99 кГц, скорость — 10 мм/с, мощность — 100 %, диаметр ролика — 40 мм, ширина ролика — 10 мм.

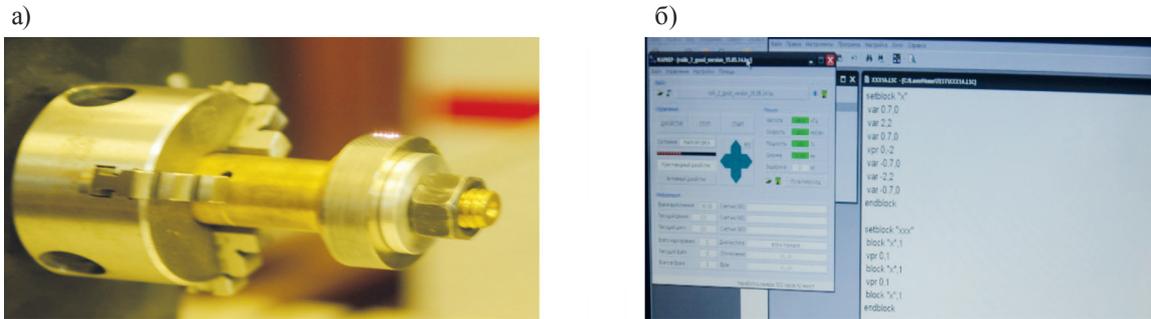


Рис. 3. Нанесение микрорельефа лазерным лучом (а), экран элемента программного продукта Laser script editor (б)

4. Подготовлена технологическая среда для проведения триботехнических испытаний согласно методике испытания запорной судовой арматуры — по данным заказчика. В качестве технологической среды для подачи в зону трения был использован концентрированный раствор хлорида натрия, имитирующий морскую воду (содержание соли NCl 34 – 35 %).

5. Разработана методика триботехнических испытаний. Для исследования на машине СМЦ-2 были использованы образцы роликов из титанового сплава ЗМ с различным микрорельефом и разработана методика испытаний на задиростойкость. В основу методики положены представления о задиростойкости как свойстве трущихся пар материалов сопротивляться возникновению задиры, т. е. «повреждению поверхностей трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения», которые возникают вследствие схватывания и заедания поверхностей трения. Методика разработана с учётом публикаций [9], [10], а также работ, выполненных различными авторами. Сущность методики состоит в испытании двух образцов при ступенчатом повышении нагрузки, один из которых имеет постоянную площадь трения и находится в постоянном контакте со вторым вращающимся образцом. В качестве показателя, характеризующего задиростойкость используется давление $P_{уд}^{кр}$ на образцы, которое при испытании приводит к скачкообразному повышению момента трения $M_{тр}$ и коэффициента трения f . Методика предназначена для оценки задиростойкости в условиях граничной смазки антифрикционных материалов, применяемых для изготовления запорной арматуры, в том числе запорного шара и композитных материалов, а также для оценки влияния на задиростойкость различных технологических сред. В основу исследования входило сравнение задиростойкости при различном микрорельефе.

6. Произведена прикатка пар образцов для триботехнических испытаний на стенде трения (рис. 4, а, б).

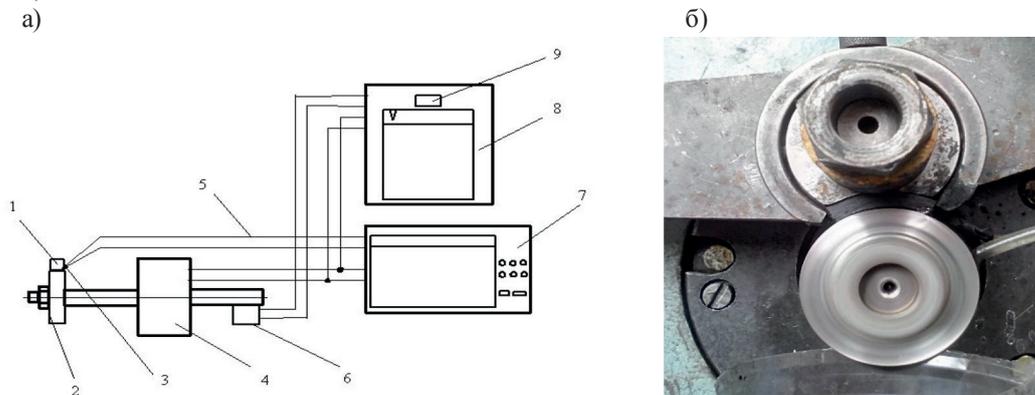


Рис. 4. Структурная схема испытаний и схема рабочего сигнала (а);

исследование образцов с подводом технологической среды в зону трения (б)

Условные обозначения: 1 — образец «сектор»; 2 — образец «ролик»; 3 — термопара; 4 — датчик момента; 5 — соединительные провода; 6 — датчик измерения числа циклов работы; 7 — осциллограф; 8 — потенциометр-мометоизмеритель; 9 — счетчик числа циклов

7. Проведена инструментальная оценка контактирующих поверхностей трения.

Для исследования шероховатости поверхности использован измерительно-вычислительный комплекс «Профиль» в режиме профилографа-профилометра для оценки параметров микрогеометрии [4], [5], а также непараметрических характеристик по стандарту DIN 4776. С помощью измерения параметров шероховатости были выявлены соответствия шероховатости роликов и поворотного элемента запорного крана судовой арматуры. Отдельные протоколы результатов измерения микрогеометрии представлены в виде профилограмм и кривых АББОТА по стандарту DIN 4776 на основании методики, изложенной в работе [4] (рис. 5).

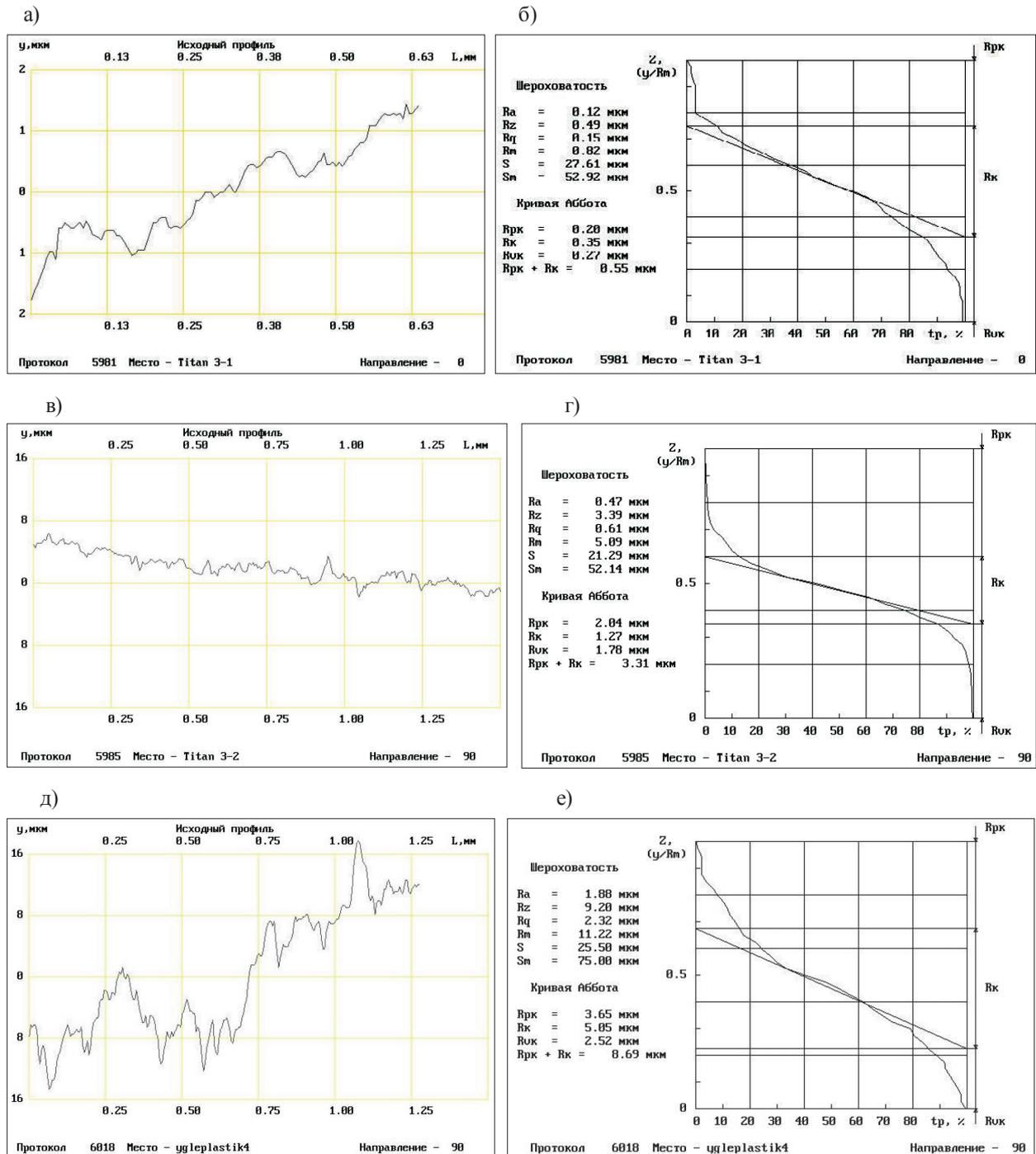


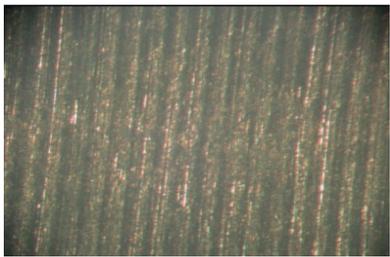
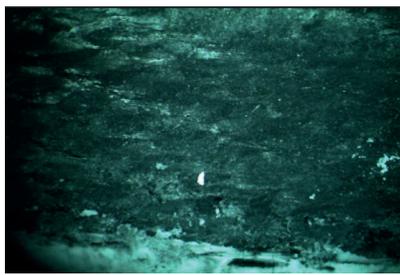
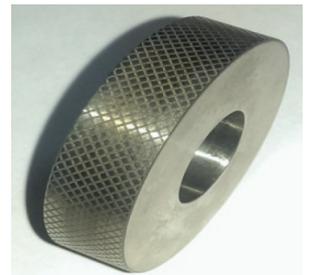
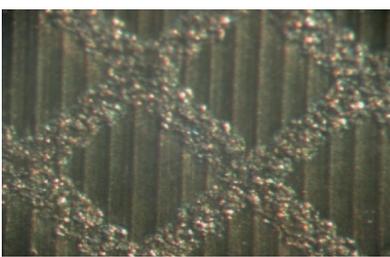
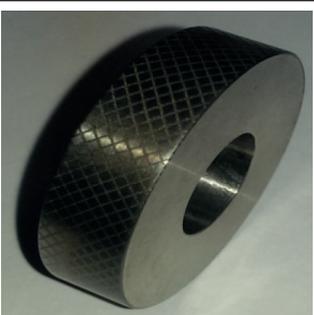
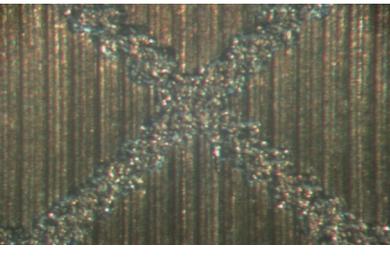
Рис. 5. Примеры профилограмм роликов и колодочек вдоль и поперек следов обработки:

- а — пример профилограммы роликов вдоль следов обработки; б — кривая АББОТА, стандарт DIN 4776;
- в — пример профилограммы роликов поперек следов обработки; г — кривая АББОТА, стандарт DIN 4776;
- д — пример профилограммы-колодочки УГЭТ поперек следов обработки;
- е — кривая АББОТА, стандарт DIN 4776

Визуальный мониторинг поверхностей трения проводился на измерительно-вычислительном комплексе на базе оптического микроскопа МБС-10 с фотоадаптером TV-A и телевизионной приставкой — цифровая USB видеокамера Altami USB 3150R6 1/2CMOS. Обработка сигнала осуществлялась с помощью программы Altami studio для изучения микрорельефа и визуализации дефектов. Примеры микрофотографий поверхностей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты визуального мониторинга поверхностей трения роликов из 3М и колодочек из УГЭТ

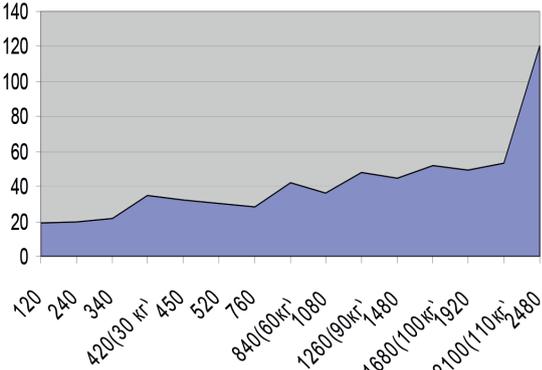
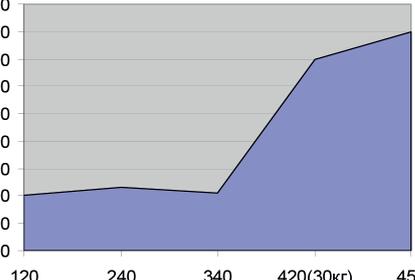
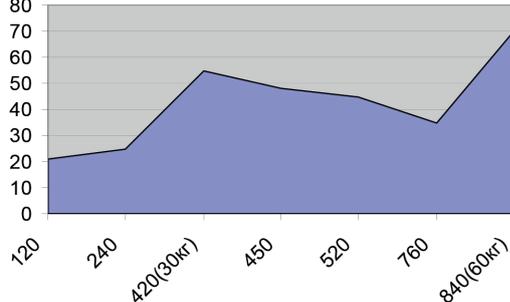
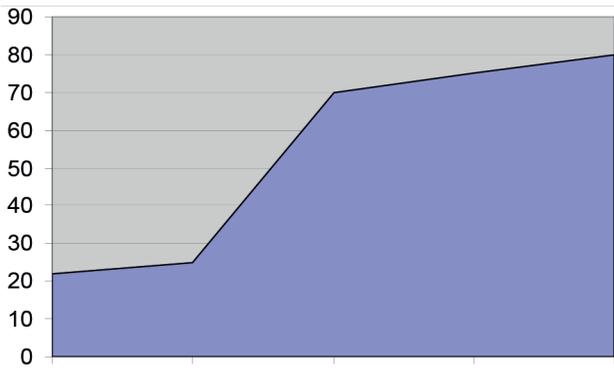
№ п/п.	Фотография ролика	Микрофотография поверхности трения ролика титанового сплава 3М (цифровой зум ×100)	Микрофотография поверхности трения контртела из композиционного углепластика УГЭТ (цифровой зум × 100)
1			
2			
3			
4			

8. Представлены протоколы результатов испытаний согласно методике обработки данных в инженерных испытаниях и расчетах (РТМ-44-62). В табл. 2 приведены результаты триботехнических испытаний трибопар титановый сплав 3М – композитный углепластик УГЭТ. Результаты износа композитного углепластика приведены на диаграмме (рис. 6). Из представленных в табл. 2

графики и диаграммы видно, что только образец без нанесенного рельефа выдержал предельную нагрузку, с критической нагрузкой задир произошел на 41 мин. Ролик с шагом 1×45 проработал 7,5 мин с нагрузкой в 30 кг, ролик с шагом $1,25 \times 45$ — 14 мин с нагрузкой 60 кг, ролик с шагом $1,5 \times 45$ — 8,6 мин с нагрузкой 30 кг.

Таблица 2

Зависимость момента трения от продолжительности испытаний на задир при ступенчатой нагрузке для трибопары титановый сплав 3М – УГЭТ на машине трения СМЦ-2

№ п/п.	График зависимости момента трения от продолжительности испытаний на задир	Объединенные характеристики испытаний
1		Масса ролика — 47,27 г Износ ролика — 0 г Масса колодки — 1,72 г Износ колодки — 0,04 г Момент трения — 120, кг · см Коэффициент трения — 0,027
2		Масса ролика — 47,23 г Износ ролика — 0 г Масса колодки — 1,74 г Износ колодки — 0,86 г Момент трения — 80 кг · см Коэффициент трения — 0,066
3		Масса ролика — 47,4 г Износ ролика — 0 г Масса колодки — 1,7 г Износ колодки — 0,94 г Момент трения — 70 кг · см Коэффициент трения — 0,029
4		Масса ролика — 47,15 г Износ ролика — 0 г Масса колодки — 1,64 г Износ колодки — 1,05 г Момент трения — 80 кг · см Коэффициент трения — 0,066

Примечание. По оси абсцисс отложено время испытаний (с); по оси ординат отложен момент трения (кг · см)



Рис. 6. Диаграмма, характеризующая износ углепластика в зависимости от характера нанесенного регулярного микрорельефа

Выводы

1. Триботехнические испытания, проведенные на машине трения СМЦ-2, показали, что только отсутствие микрорельефа позволяет снизить коэффициент трения для трибопар из антифрикционных материалов, повысить износостойкость и индексы задира.

2. Данный отрицательный результат, полученный на машине трения, показывает, что нанесение регулярного микрорельефа методом лазерного легирования не позволяет повысить износостойкость ответственного трибосопряжения.

3. В результате трибоиспытаний было выявлено, что нанесённый микрорельеф выступает как режущий инструмент (микроабразив — совокупность микронеровностей, расположенных регулярным образом). Воздействие лазерного луча на поверхность титановых образцов привели к изменению структуры поверхности, что видно на характерных микрофотографиях. Возможно повышению твердости, что требует дополнительных металлографических исследований.

4. Данный метод повышения износостойкости и антизадирных свойств деталей, выполненных из титанового сплава ЗМ и композиционного углепластика УГЭТ, в настоящее время не может быть применим в качестве замены существующего на производстве метода ионной имплантации (насыщения азотом для создания соединения нитрида титана).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарева В. Е. Антифрикционные неметаллические материалы для узлов трения скольжения / В. Е. Бахарева, Г. И. Николаев, А. В. Анисимов // Вопросы материаловедения. — 2011. — № 1 (65). — С. 75–88.
2. Бахарева В. Е. Антифрикционные углепластики в узлах трения центробежных насосов / В. Е. Бахарева, А. В. Анисимов, И. В. Лишевич // Насосы. Турбины. Системы. — 2011. — № 1. — С. 47–52.
3. Лишевич И. В. Создание антифрикционных теплостойких углепластиков для высокоскоростных подшипников насосов и паровых турбин: дис. ... канд. техн. наук; специальность: 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) / И. В. Лишевич. — СПб.: ФГУП ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей», 2015. — 157 с.
4. Васильков Д. В. Приборы и комплексы контроля качества машин / Д. В. Васильков, В. А. Валетов, В. М. Петров [и др.]; под ред. К. П. Галасовой. — СПб.: АО НПЦ КОНТАКТ, 1995. — 18 с.
5. Васильков Д. В. Комплексные исследования состояния поверхностного слоя ответственных деталей машинных агрегатов / Д. В. Васильков, В. М. Петров, С. Ю. Иванов, В. И. Прима // Тяжелое машиностроение. — 1998. — № 3. — С. 31–34.

6. Васильков Д. В. Комплексное исследование состояния поверхностного слоя инструментальных материалов при ионно-вакуумной обработке / Д. В. Васильков, В. М. Петров, И. А. Сенчило // Управление качеством финишных методов обработки: сб. науч. тр. — Пермь: ПГТУ, 1996. — С. 176–179.

7. Шнейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1982. — 247 с.

8. Пат. 2252131 Российская Федерация, МПК В 24 С 1/00. Способ формообразования регулярного микрорельефа / М. Г. Исупов; заяв. и патентообл. Исупов Максим Георгиевич. — № 2002133176/02; заявл. 09.12.2002; опубл. 20.05.2005, Бюл. № 14.

9. Буше Н. А. Совместимость трущихся поверхностей / Н. А. Буше, В. В. Копытько. — М.: Наука, 1981. — 128 с.

10. ГОСТ 23.224-86. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. — М.: Стандартинформ, 2005. — 20 с.

INFLUENCE OF LASER HARDENING TECHNOLOGY OF SURFACE OF SAMPLES OF TITANIUM ALLOY ON THE PERFORMANCE OF FRICTION PAIRS CARBON FIBER – TITANIUM

Abstract, modern shipbuilding in the manufacture of marine valves find wide application of new materials. Among structural metallic alloys are alloys of titanium, and among composite materials, ceramic and carbon fiber reinforced plastics tribological purposes. The combination of these materials in loaded friction pairs, due to the specifics of the pumped liquid medium through the elements of shipboard valves. High aggressiveness and the temperature factor plays a crucial role in the choice of materials. Contact surfaces of parts of friction pairs, after mechanical, once can not provide reliable operation of the pairing without binding or jamming. This is primarily due to bad tribological characteristics of titanium alloy. In practice, often use expensive methods of surface hardening: either related to ion implantation of impurity atoms of the metal having an increased hardness relative to the titanium alloy, or use of technological operations of plastic deformation that creates the hardening of the surface. Now there are techniques of laser surface hardening in combination with the application of the regular microrelief. These studies from the point of view of improving the tribological properties of the surface of titanium samples and on the proposed friction article.

In particular, the article described in some detail the main points concerning the technology of sample preparation and counter-counter – tel, the technology application of the regular microrelief with a laser, painted technique and modes of tribological tests and methods of instrumental evaluation of wear and parameters of surface layer of samples of friction. The result of research is new and clarifies individual postulates of the General theory of friction and wear a pair of composite material (CFRP) and titanium alloy.

Keywords: titanium alloy, tribology, antifriction carbon plastic, friction stands, quality parameters, roughness, regular microrelief.

REFERENCES

1. Bakhareva, V. E., G. I. Nikolaev, and A. V. Anisimov. “Antifrictional nonmetallic materials for units of a sliding friction.” *Voprosy Materialovedeniya* 1(65) (2011): 75–88.

2. Bakhareva, V. E., A. V. Anisimov, and I. V. Lischevich. “Antifrictional carbon plastics in the centrifugal pumps friction assemblies.” *Nasosy. Turbiny. Sistemy* 1 (2011): 47–52.

3. Lischevich, I. V. Sozdanie antifrikcionnyh teplostojkih ugleplastikov dlja vysokoskorostnyh podshipnikov nasosov i parovyh turbin. PhD diss. SPb.: FGUP “CNII konstrukcionnyh materialov “Prometej”, 2015.

4. Vasilkov, D. V., V. A. Valetov, V. M. Petrov, et al. *Pribory i kompleksy kontrolja kachestva mashin*. Edited by K. P. Galasova. SPb.: AO NPC KONTAKT, 1995.

5. Vasil'kov, D. V., V. M. Petrov, S. Yu. Ivanov, and V. I. Prima. “Complex investigation of the state of the surface layer of vital components in machine units.” *Tjazeloe mashinostroenie* 3 (1998): 31–34.

6. Vasilkov, D. V., V. M. Petrov, and I. A. Senchilo. “Kompleksnoe issledovanie sostojanija poverhnostnogo sloja instrumentalnyh materialov pri ionno-vakuumnoj obrabotke.” *Upravlenie kachestvom finisnyh metodov obrabotki: sb. nauch. tr.* Perm: PGTU, 1996: 176–179.

7. Shnejder, Ju. G. *Jekspluatacionnye svojstva detalej s reguljarnym mikrorelifom*. 2-d ed. L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1982.

8. Isupov, M. G. RU 2 252 131 C2, IPC B 24 C 1/00. Sposob formoobrazovanija reguljarnogo mikrorelifa. Russian Federation, assignee. Publ. 20 May 2005.

9. Bushe, N. A., and V. V. Kopytko. *Sovmestimost trushhihsja poverhnostej*. M.: Nauka, 1981.

10. Russian Federation. State Standart 23.224-86. Products wear resistance assurance. Reestablished machine parts. Experimental evaluation of wear resistance ability. M.: Standartinform, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Владимир Маркович —
доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
tribotex@narod.ru
Буцанец Артем Александрович —
начальник отдела НТИ и ИС.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
govorlivii@gmail.com
Безпальчук Сергей Николаевич — соискатель.
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
ualaes@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petrov Vladimir Markovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
tribotex@narod.ru
Butsanets Artem Aleksandrovich —
Head of Department of Scientific and Technical
Information and Intellectual Property
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
govorlivii@gmail.com
Bezpal'chuk Sergej Nikolaevich — applicant.
Peter the Great St.Petersburg
Polytechnic University
ualaes@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-129-139
УДК 629.12, 697.9

К. А. Васильев

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА УЧАСТКАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье приведен алгоритм, методология определения и расчета элементов системы вентиляции и кондиционирования с быстропеременным расходом воздуха на примере одной зоны производственного помещения — участка механической обработки заготовок из композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении. При обработке композиционных полимерных материалов выделяется большое количество вредных примесей, существенно меняется газовый состав в рабочей зоне, увеличивается риск выброса в окружающую среду вредных примесей от разрушения матрицы и армирующих волокон, поэтому достаточно актуальными являются исследования, посвященные вопросам защиты оператора и зоны промышленного помещений предприятий судостроительной отрасли от вредных выбросов, а также общему давлению на окружающую среду и снижению класса опасности производства.

Представленные технические решения, которые могут быть использованы на этапе проектирования, на базе современных комплектующих предполагают выполнение заданных требований по штатной эксплуатации системы приточной вентиляции и кондиционирования рабочей зоны. Предлагается методологическое решение, соответствующее заданным требованиям технических норм подобных объектов эксплуатации. С целью повышения точности, быстродействия и энергоэффективности синтезирована система, объединяющая собственно вентиляцию, кондиционирование и количественное регулирование приточного воздуха, в том числе по процентному составу CO₂. Приведен пример расчета вентиляционных параметров устройства и создана математическая модель объекта по газовой среде. Произведен анализ работы предложенной системы в программном пакете Matlab. Полученные в виде графиков и диаграмм результаты достаточно наглядно иллюстрируют протекающие переходные процессы вентиляции и кондиционирования воздуха на всех этапах и точно учитывают малейшие изменения газового состава и состава пылевоздушной смеси, образующейся в рабочей зоне у каждого обрабатываемого центра.

Ключевые слова: композит, углепластик, реактопласт, механическая обработка, производственный участок, вентиляция, кондиционирование, вредные факторы, моделирование, алгоритм, система управления.