

Противозадирная присадка к смазочным маслам: № 99119877/04: заявл. 16.09.1999: опубл. 27.05.2001 / Г. Г. Кашбиев, Е. А. Наумова, В. П. Бруева [и др.]; заявитель ООО «Бератон».

13. Шолом, В.Ю. Влияние смазочно-охлаждающих технологических средств на повышение производительности при формировании внутренней резьбы бесстружечным метчиком / В. Ю. Шолом, А. М. Казаков, Ю. А. Лавриненко, В. С. Жернаков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 5. – С. 15-19.

14. Технопарк «ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ». Каталог продукции [сайт]. URL:<http://rosoil.ru> (дата обращения 18.04.2024).

15. Шолом, В.Ю. Смазочные материалы серии «Росойл» / В.Ю. Шолом В.Ю., И.Б. Белов, А.Н. Абрамов. // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов в 4-х томах. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2019. – С. 437-439.

16. Крюков, С.А. Технические и технологические смазочные и охлаждающие средства. [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.А. Крюков, В.М. Шумячер, Н.В. Байдакова, В.А. Граблин; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 835 КБ). – Волжский, 2021. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

V.Yu. Sholom<sup>1</sup>, A.S. Trofimov<sup>1</sup>, D.G. Tyulenev<sup>1</sup>, A.M. Kazakov<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup>LLC “Self-supporting creative center of the Ufa Aviation Institute”,  
Ufa, Russia, [rosoil@rosoil.ru](mailto:rosoil@rosoil.ru)

## NEW EXTREME PRESSURE ADDITIVE "ROSOIL-PZ-5"

### Abstract

The results of the development of a new additive for lubricants Rosoil-PZ-5 are presented. The physicochemical and tribological characteristics of the additive are given. It is shown that the additive contains 45% sulfur, has a high ultimate load capacity (9310 N), low ash content (0.12%) and a kinematic viscosity of 59 mm<sup>2</sup>/s at 50°C. The Rosoil-PZ-5 additive in an amount of 5% increases the welding load of I-20A oil by 3 times and is more effective than six additives of Russian and foreign production. It has been established that adding a new additive in an amount of 3% increases the welding load of technological lubricants by 2-4 steps and reduces the power parameters of the process of forming internal threads with a chipless tap by more than 2 times.

*Key words:* oils, lubricants, process lubricants, extreme pressure additives.

УДК 67.017

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-237

П.О. Русинов, Г.В. Курапов, А.А. Русинова, М.Д. Семадени, В.Н. Елисеев  
<sup>1</sup>Кубанский государственный технологический университет,  
Краснодар, Россия, [ruspiter5@mail.ru](mailto:ruspiter5@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

### Аннотация

Вопросы повышения долговечности, надежности, расширения функциональных возможностей изделий, работающих в условиях температурных, силовых, деформационных воздействий могут быть решены разработкой и

применением гибридных композитных материалов, высокоэнтропийных и керамических слоев. Применение поверхностных слоистых материалов AlCoCrCuFeNi, cBNCoMo/B4CCoMo в составе гибридных композитов, способствует значительному повышению циклической долговечности и износостойкости. Результаты проведенных испытаний композитов, показывают, что разработанные композиты перспективны для применения в различных отраслях промышленности (в том числе и нефтегазовой), где требуется высокая прочность и износостойкость материалов.

*Ключевые слова:* композиты; керамика; износ.

## **Введение**

Использование высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) вместе с керамическими материалами [1-4] в качестве защитных поверхностных слоев [5-7] позволяет обеспечить эффективную реакцию и адаптацию к внешним воздействиям, а формирование покрытий высокоэнергетическими технологиями обеспечивают наноструктурирование. Исследование слоистых поверхностных композитов с градиентом свойств является одним из передовых направлений для нефтегазовой промышленности, аэрокосмической промышленности и машиностроения. Вследствие того, что материалы высокой твердости обладают пониженной вязкостью, требуется создание слоистых градиентных структур, которые будут обеспечивать демпфирование и уменьшение напряжений. Уменьшение напряжений в композитном материале, достигается за счет правильно выбранной «архитектуры» слоистого композита. Так, например, нижний функциональный слой композита, контактирующий с основой (Hastelloy X) должен обладать большей пластичностью, упругостью, чем вышележащий слой. А вышележащий слой, контактирующий с агрессивной средой, должен обладать повышенной прочностью, твердостью. Правильно, выбранная «архитектура», обеспечивает высокие механические и функциональные свойства композитного материала [7-9]. В качестве функционального слоя в композитном материале, нами выбран высокоэнтропийный материал. В качестве вышележащего слоя, граничащего с функциональным слоем из ВЭСов, нами выбран комбинированный керамический материал, наиболее подходящий для контактных сред нефтегазовой промышленности. Функции релаксации напряжений в слоистом композите, также могут выполнять слои из высокоэнтропийных материалов [10-12].

В качестве основы для повышения эксплуатационных свойств и износостойкости поверхностными слоистыми композитами, выбран сплав Hastelloy X (никель-хром-железо-молибден), хорошо зарекомендовавший себя в нефтегазовой и нефтехимической промышленности [11-13].

Цель работы: исследование износостойкости слоистых композитов AlCoCrCuFeNi-cBNCoMo, AlCoCrCuFeNi-B4CCoMo.

## **Методы и материалы**

В качестве основы выбран широко распространенный в нефтегазовой промышленности сплав Hastelloy X (NiCrFeMo). В качестве функционального слоя, граничащего с основой (сплав Hastelloy X (NiCrFeMo)), выбран высокоэнтропийный сплав AlCoCrCuFeNi. Высокоэнтропийный сплав AlCoCrCuFeNi обладает, высокими функциональными (сверхпластичностью и др.) и механическими свойствами [14,15]. В качестве поверхностных, упрочняющих слоев, выбрана

комбинированная керамика cBNCoMo (B4CCoMo), обладающая повышенной износостойкостью и прочностью [16,17]. Источником создания тепловой энергии является высокоскоростная газопламенная струя. Преимуществом в выборе этого источника является возможность формирования мелкозернистой (нано) структуры за короткого времени взаимодействия с обрабатываемой поверхностью, а именно большой скоростью нагрева и охлаждения наносимой поверхности.

Химический анализ исследуемых порошковых композиций представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический анализ материалов, вес.%

Материалы	Ni	Mo	Cr	Fe	W	Co	Mn	C	P	S	Si	Al	Ti	B	Cu	cBN	B4C
Hastelloy X	43.3	9.5	21.8	20.1	0.7	1.9	0.8	0.1	0.03	0.02	0.9	0.3	0.1	0.01	0.4	-	-
AlCoCrCuFeNi	16,7	-	16,7	16,7	-	16,7	-	-	-	-	-	16,6	-	-	16,6	-	-
cBNCoMo	-	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	-
B4CCoMo	-	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85

Перед HVOF в защитной атмосфере, осуществляли высокоэнергетическую механическую обработку (ВМО) порошковых композиций. С целью повышения функциональных свойств поверхностных слоистых композиций AlCoCrCuFeNi-cBNCoMo, AlCoCrCuFeNi-B4CCoMo, осуществляли ВМО порошковых смесей с применением планетарно-центробежной шаровой мельницы ГЕФЕСТ-2 (АГО-2У). ВМО порошковых смесей, осуществлялась в инертной среде (среда аргона).

При помощи прибора Falcon 503 с алмазной пирамидкой, углом при вершине 136° и нагрузкой на индентор 200 г проводились измерения микротвердости слоев композита. Определение пористости слоев композитного материала, осуществлялось методом гидростатического взвешивания. С применением специального стандартного оборудования проводились исследования свойств слоистых композитов: машины для усталостных испытаний МУИ-6000 и машины для испытания на износ 2070 СМТ-1.

### Результаты и обсуждение

После формирования гибридных слоистых композитных материалов, при использовании многофункционального технологического комплекса, и механически активированных порошков AlCoCrCuFeNi, cBNCoMo, B4CCoMo наблюдается снижение пористости материалов (пор менее 0,8%), повышение адгезионной и когезионной прочности 175-192 МПа. Повышение адгезионной и когезионной прочности слоев композитов, объясняется проведением термомеханической обработки (пластическая деформация при температуре 1223-1323К и последующих отжигов), после формирования слоев материалов AlCoCrCuFeNi – cBNCoMo, AlCoCrCuFeNi - B4CCoMo с помощью HVOF, также проведением высокоэнергетической механообработки наносимых материалов.

После формирования слоев гибридных композитов Hastelloy X – AlCoCrCuFeNi - cBNCoMo, Hastelloy X – AlCoCrCuFeNi - B4CCoMo в инертной среде, проводился отжиг с температурой в 1073-1173К для устранения избыточных интерметаллидных фаз и уменьшения остаточных напряжений, вследствие формирования слоев материалов HVOF. Финальная операция включала в себя термомеханическую обработку включающая пластическое деформирование слоев с температурой 1223-1323К и финальным отжигом в течение 1 часа и температурой 973-1073К.

Макро- и микроанализы поверхностных слоев сплавов обнаружили, что плотность гибридных композитов очень высокая. Граница раздела между слоями гибридных композитов без видимых дефектов, а размеры зерен в композитных материалах были следующие: AlCoCrCuFeNi – от 75 нм до 123 нм (рис. 1 а); cBNCoMo – от 92 нм до 136 нм (рис. 1, б); В4ССоМо – от 86 нм до 163 нм (рис. 1 в). Толщины слоев гибридных композитных материалов, были следующие: AlCoCrCuFeNi – от 1 мм до 1,3 мм; cBNCoMo – от 0,5 мм до 0,7 мм; В4ССоМо – от 0,5 мм до 0,7 мм.

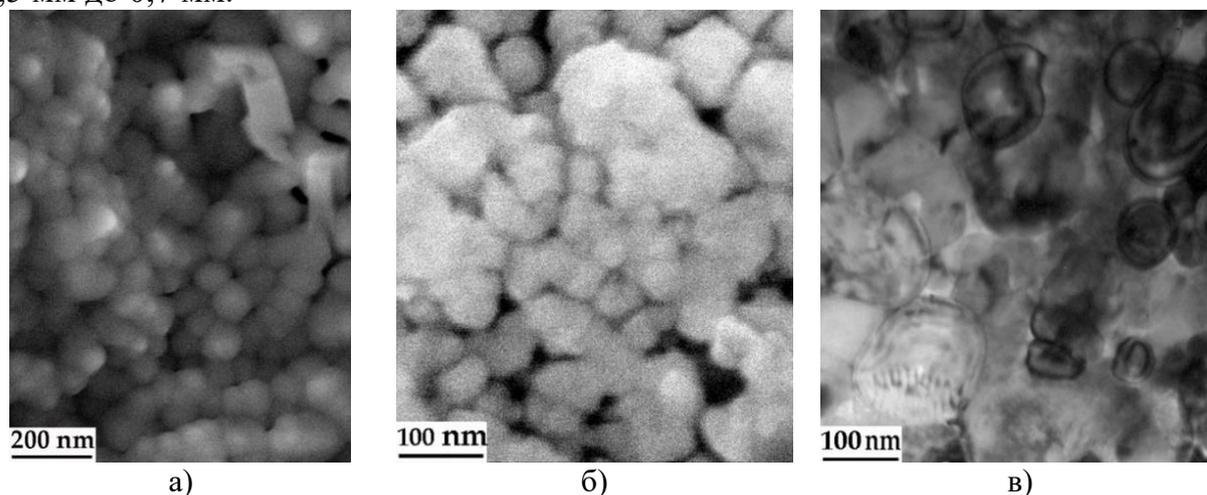


Рисунок 1 – Структуры слоев композитов: а) AlCoCrCuFeNi  $\times 30\,000$ , б) cBNCoMo  $\times 100\,000$ , в) В4ССоМо  $\times 150\,000$

Структурные параметры кристаллических решеток фаз слоев сплавов AlCoCrCuFeNi, cBNCoMo, В4ССоМо, входящих в гибридные композитные материалы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Структурные параметры кристаллических решеток фаз слоев сплавов, входящих в гибридные композитные материалы

Фаза	a, нм	$V_{ат} \cdot 10^3$	b, нм	c, нм	$\beta$ , степень
cBNCoMo					
BN (кубическая решетка)	0,3615	47,24	0,3615	0,3615	90,00
B2CN (гексагональная решетка)	0,2574	25,49	0,2574	0,4442	90,00
B2CN (ортохромбическая решетка)	0,256	50,77	0,791	0,2507	90,00
Со (гексагональная решетка)	0,2503	25,44	0,2503	0,406	90,00
В4ССоМо					
В4 С (кубическая решетка) (ромбоэдрическая)	0,5593	378,039	0,5593	1,2085	90,00
В4 С2 Со22 (кубическая решетка)	1,046	1144,445	1,046	1,046	90,00
Со (гексагональная решетка)	0,2502	25,35	0,2502	0,405	90,00
AlCoCrCuFeNi					
ВСС (объемно-центрированная кубическая решетка)	0,2875	23,76	0,2875	0,2875	90,00
FCC (гранцентрированная кубическая решетка)	0,3608	46,97	0,3608	0,3608	90,00
В2 (кубическая решетка)	0,3207	32,98	0,3207	0,3207	90,00

Кубический нитрид бора и карбид бора были выбраны материалами высокой твердости для функциональных слоев гибридных композитов, они в отличие от других сверхтвердых материалов, не подвержены химическому износу, а значит

химически нейтральны. Кобальт и молибден были выбраны в качестве связующего материала. Проведенный литературный поиск данных позволяет сделать вывод, что лучшими механическими характеристиками, адгезией и когезией к зернам сBN обладают связи на основе кобальта и молибдена при их содержании от 10 % до 30%. Учитывая дефицитность кобальта в качестве связки и химическое сродство с материалом функционального слоя AlCoCrCuFeNi было принято решение использовать только 10% кобальта в составе.

Микротвердость слоев сплавов гибридных композитных материалов Hastelloy X(NiCrFeMo) – AlCoCrCuFeNi - сBNCoMo, Hastelloy X(NiCrFeMo) – AlCoCrCuFeNi - В4ССоМо, составила: супер сплава Hastelloy X(NiCrFeMo) HV0.2 = 3,8÷3,95ГПа; сплава AlCoCrCuFeNi HV0.2 = 4,41÷4,57ГПа; сплава сBNCoMo, HV0.3 = 34,3÷34,8 ГПа; сплава В4ССоМо, HV0.3 = 18,7÷18,9 ГПа (Рисунок 2).

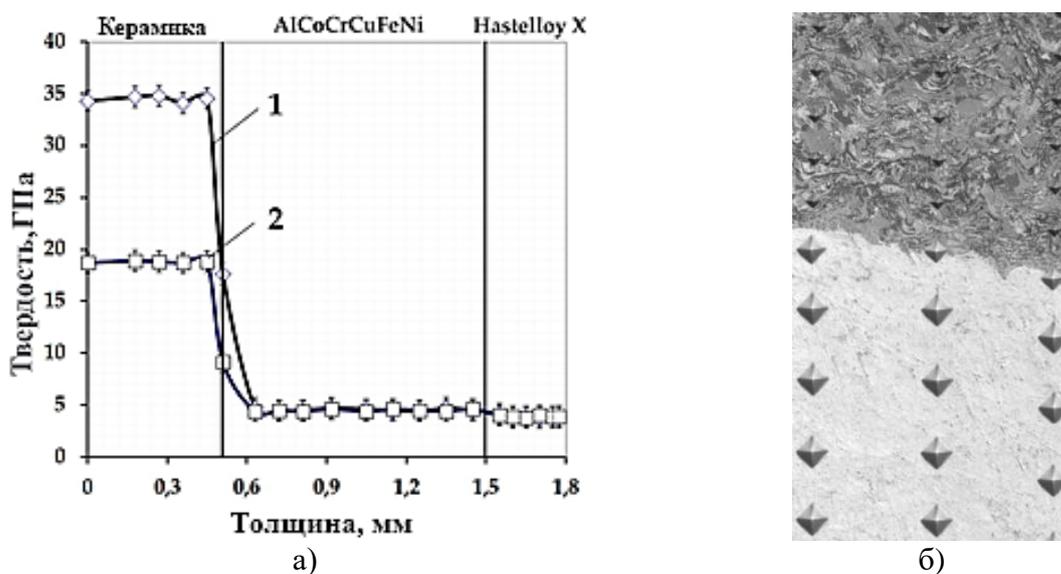


Рисунок 2 – Микротвердость слоев композитов: а) 1 – Hastelloy X(NiCrFeMo) – AlCoCrCuFeNi – сBNCoMo, 2 – Hastelloy X(NiCrFeMo) - AlCoCrCuFeNi - В4ССоМо; б) фото измерения микротвердости композиционного материала AlCoCrCuFeNi – сBNCoMo

Полученные в исследованных материалах данные о характере распределения послойного изменения микротвердости и их максимальных значениях позволяют утверждать, что полученный материал из «слоистых структур» повышают механические характеристики покрытия, а именно, увеличивает прочностные характеристики и износостойкость.

При оптимизации технологического процесса формирования композитных материалов, возможно достигнуть одновременного повышения прочности, твердости, долговечности, износостойкости изделия. Во время испытаний на износ образцов с поверхностными слоями AlCoCrCuFeNi – сBNCoMo и AlCoCrCuFeNi - В4ССоМо регистрируется увеличение температуры поверхности в зоне трения. Увеличение износостойкости при полном цикле обработки обусловлено повышенной твердостью поверхностных слоев композитных материалов сBNCoMo и В4ССоМо.

На рисунке 3, изображены результаты проведенных испытаний на трение композиционных материалов: NiCoTiZrHf + сBNCoMo; AlCoCrCuFeNi – сBNCoMo; AlCoCrCuFeNi – В4ССоМо; Hastelloy X; общая толщина слоев композита составила 1,5 мм, полученные образцы испытывали на машине для испытания на трение 2070 СМТ-1 (рис. 3,б) по схеме диск-диск. Испытания проводились в условиях сухого

трения при скорости скольжения диска 2 м/с. Во время загрузки измеряли температуру в точке контакта. Экспериментальные данные обрабатывались с использованием пакета приложений Statistica v10.0 в среде SPSS. Анализ полученных результатов показывает (рис. 3,а), что материал Hastelloy X ( $I = 46.16 \times 10^{-6}$  г/м, давление диска  $P = 9.4$  МПа) имеет наибольшую скорость изнашивания (рис. 3,а, кривая 1), а наименьшая скорость изнашивания принадлежит композиционному материалу AlCoCrCuFeNi - B4CCoMo ( $I = 30.82 \times 10^{-6}$  г/м, давление диска  $P = 9.4$  МПа) (Рисунок 3,а, кривая 2). Скорость изнашивания композиционных материалов AlCoCrCuFeNi – cBNCoMo ( $I = 27.78 \times 10^{-6}$  г/м, давление диска  $P = 9.4$  МПа) (Рис. 3,а, кривая 3), NiCoTiZrHf - cBNCoMo ( $I = 24.43 \times 10^{-6}$  г/м, давление диска  $P = 9.4$  МПа) (Рис. 3,а, кривая 4).

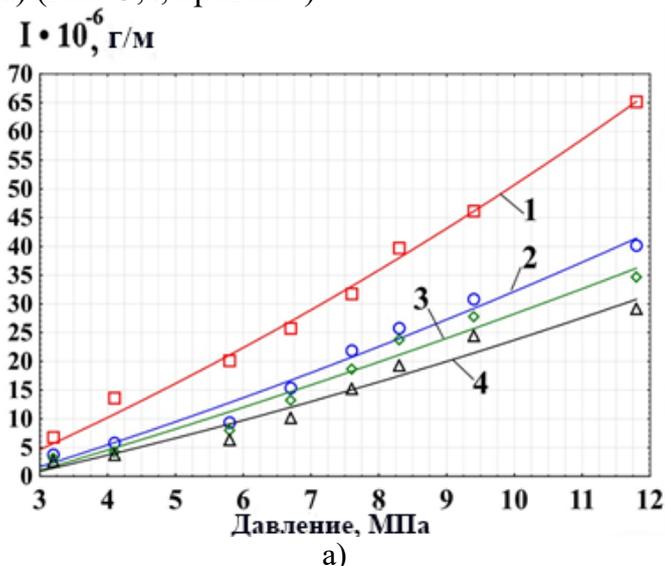


Рисунок 3 – а) Зависимость интенсивности изнашивания  $I$ , г/м от давления диска  $P$ , МПа (скорость скольжения диска 2 м/с): 1 – Hastelloy X, 2 – AlCoCrCuFeNi + B4CCoMo, 3 – AlCoCrCuFeNi + cBNCoMo, 4 – NiCoTiZrHf + cBNCoMo; б) фотография испытания на фрикционный износ

Измерение скорости изнашивания ( $I$ ) от давления ( $P$ ) диска проводится по полиномиальной зависимости (рис. 3,а) и рассчитываются с помощью эмпирических уравнений (1) – (4), которые получены в результате математического анализа экспериментальных данных в программе Statistica v10.0:

$$\text{AlCoCrCuFeNi - B4CCoMo: } I = -8,7668 + 3,2016 \cdot P + 0,0891 \cdot P^2 \quad (1)$$

$$\text{Hastelloy X (NiCrFeMo): } I = -10,0661 + 4,4004 \cdot P + 0,1676 \cdot P^2 \quad (2)$$

$$\text{AlCoCrCuFeNi - cBNCoMo: } I = -8,8551 + 3,119 \cdot P + 0,0593 \cdot P^2 \quad (3)$$

$$\text{NiCoTiZrHf-cBNCoMo: } I = -6,5706 + 2,2526 \cdot P + 0,0774 \cdot P^2 \quad (4)$$

По полученным результатам испытаний на износ можно утверждать, что композитные материалы Hastelloy X(NiCrFeMo) – AlCoCrCuFeNi - cBNCoMo, Hastelloy X(NiCrFeMo) – AlCoCrCuFeNi - B4CCoMo могут применяться для повышения надежности различных элементов конструкций в нефтегазовой промышленности, аэрокосмической промышленности, машиностроении работающих в условиях фрикционно-циклического нагружения, которые обеспечивают свойства высокоэнтропийных и керамических материалов: трещиностойкость и увеличенная демпфирующая способность.

### Заключение

Решение задачи по обеспечению долговечности, надежности, расширения

функциональных возможностей изделий, работающих в температурных, силовых и деформационных условиях может быть выполнено с применением гибридных композитных материалов. Разработана технология формирования гибридных композитов, состоящих из слоя высокоэнтропийных материалов и слоя из керамических материалов. Разработанная технология включает: высокоэнергетическую механическую обработку, HVOF в защитной атмосфере, высокотемпературную термомеханическую обработку, термическую обработку. Применение разработанной технологии, позволило повысить адгезионную прочность слоев композитов с 68 до 192 МПа. Обоснован выбор порошковых материалов для формирования высокоэнтропийных AlCoCrCuFeNi и керамических cBNCoMo(B4CCoMo) слоев композитов их химической совместимости, для обеспечения повышения надежности и долговечности изделий.

Применение высокоэнергетической обработки порошковых материалов AlCoCrCuFeNi, cBNCoMo, B4CCoMo, способствует повышению адгезионных свойств и качества (снижение пористости) слоев композитов. Исследована структура слоев AlCoCrCuFeNi, cBNCoMo, B4CCoMo композитов, после комплексной обработки. Применение поверхностных слоистых материалов в составе гибридных композитов, позволило значительно снизить интенсивность изнашивания с  $I = 46.16 \times 10^{-6}$  г/м (для сплава Hastelloy X до  $I = 27.78 \times 10^{-6}$  г/м (AlCoCrCuFeNi – cBNCoMo).

Результаты проведенных испытаний композитов, показывают, что разработанные композиты перспективны для применения в различных отраслях промышленности (в том числе и нефтегазовой), где требуется высокая прочность и износостойкость материалов.

### **Благодарности**

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-23-00074, <https://rscf.ru/project/23-23-00074/>»

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Duchaniya, R.K.; Pandel, U.; Rao, P. Coatings based on high entropy alloys: An overview. *Materials Today: Proceedings*. 2021, 44. pp. 4467-4473. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.720>.
2. Lin, C.; Yao, Y. Corrosion-Resistant Coating Based on High-Entropy Alloys. *Metals*. 2023, 13(2), 205. <https://doi.org/10.3390/met13020205>.
3. Mehmood, M.A.; Shehzad, K.; Mujahid, M.; et al. Ceramic-reinforced HEA matrix composites exhibiting an excellent combination of mechanical properties. *Scientific Reports*. 2022, 12, 21486. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25734-w>.
4. Kara, M.; Coskun, T.; Gunoz, A. Influence of B4C on enhancing mechanical properties of AA2014 aluminum matrix composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2021, 236, 5. <https://doi.org/10.1177/09544062211058599>.
5. Li Yang, Xiaohong Shi, Xinfu Tian, Hanhui Wang, Lehua Qi. Microstructure and corrosion behavior of ZrO2 coated carbon fiber reinforced magnesium matrix composites sprayed with different powder characteristics. *Ceramics International*. 2022, Volume 48, Issue 20, pp. 30797-30806. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.07.033>.
6. Donghyun Lee, Junghwan Kim, Byeongjin Park, Ilguk Jo, Sang-Kwan Lee, Yangdo Kim, Sang-Bok Lee, Seungchan Cho. Mechanical and Thermal Neutron Absorbing Properties of B4C/Aluminum Alloy Composites Fabricated by Stir Casting and Hot Rolling Process. *Metals*. 2021, 11(3), 413. <https://doi.org/10.3390/met11030413>.

7. Rusinov, P.O.; Blednova, Zh.M.; Kurapov, G.V. Functionally-oriented composite layered materials with martensitic transformations. *Surface Innovations*. 2023, Volume 11, Issue 1-3, pp. 26-37. <https://doi.org/10.1680/jsuin.21.00077>.

8. Cai, X.; Zhang, N.; Liu, H. Thickness dependence of viscoelastic stress relaxation of laminated microbeams due to mismatch strain. *Applied Mathematics and Mechanics*. 2022, 43, pp.467–478. DOI: 10.1007/s10483-022-2841-5

9. Maleki, E.; Unal, O.; Guagliano, M.; Bagherifard, S. Analysing the Fatigue Behaviour and Residual Stress Relaxation of Gradient Nano-Structured 316L Steel Subjected to the Shot Peening via Deep Learning Approach. *Metals and Materials International*. 2022, 28, pp.112–131. DOI: 10.1007/s12540-021-00995-8

10. Belov, M.M.; Ivanov, I.A.; Uglov, V.V.; Zlotski, S.V.; Jin, K.; Stepanjuk, N.A.; Ryskulov, A.E.; Kozlovskiy, A.L.; Koloberdin, M.V.; Kurakhmedov, A.E.; Sapar, A.D. Stress evolution in NiCoFeCrMn and NiCoFeCr high-entropy alloys irradiated by helium and krypton ions. *Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE–2022)*. Tomsk, Russia. 2022, pp.1082-1087. DOI: 10.56761/EFRE2022.C5-P-052802.

11. Lee, Y.S.; Sung, J.H. Microstructure and Mechanical Properties of Hastelloy X Fabricated Using Directed Energy Deposition. *Metals*. 2023, 13(5), 885. <https://doi.org/10.3390/met13050885>.

12. Wang, H.; Wu, H.; Liu, Y.; Qiu, W.; Deng, H.; Zhou, L.; Chen, L. Oxidation Behavior of Hastelloy X Alloy Fabricated by Selective Laser Melting and Subsequent Hot Isostatic Pressing Treatment. *Advanced Engineering Materials*. 2022, Volume 24, Issue 11. <https://doi.org/10.1002/adem.202200369>.

13. Baranowski, M.; Senkara, J. Mechanical Properties of Structural Components in Hastelloy X Joints Brazed with Ni-Pd-Cr-B-Si Alloy. *Materials*. 2023, 16(3), 1115. <https://doi.org/10.3390/ma16031115>.

14. Prabu, G.; Muthukannan Duraiselvam, N. Jeyaprakash & Che-Hua Yang. Microstructural Evolution and Wear Behavior of AlCoCrCuFeNi High Entropy Alloy on Ti–6Al–4V Through Laser Surface Alloying. *Metals and Materials International*. 2021, Volume 27, pp.2328–2340. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00873-9>

15. Bian C.H.; Yang, W.J.; Zhang, W.; Li, Q.; Wen, J.; Feng, L. Analysis of the effect of FeCr phase and AlCo phase in the friction process of AlCoCrCuFeNi high entropy alloy coating[J]. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2023, 49(2), pp. 9-16.

16. Veerasha G.; Manjunatha B.; Nagal Madeva; Auradi V.; Bharath V. Synthesis and wear behavior of varying particle sized B4C reinforced Al2618 alloy composites. *Materials Physics and Mechanics*. 2022, Volume 50, Issue 3, pp. 373-387. DOI: 10.18149/MPM.5032022\_2.

17. Omid Velayatipour, Leila Nikzad, Mohammad Farvizi. B4C reinforced NiTi-based composites: Microstructure and wear performance. *Applied Ceramic Technology*. 2023, Volume20, Issue 3. pp.1667-1680. <https://doi.org/10.1111/ijac.14286>.

P.O. Rusinov<sup>1</sup>, G.V. Kurapov<sup>1</sup>, A.A. Rusinova<sup>1</sup>, M.D. Semadeni<sup>1</sup>, V.N. Eliseev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Technological University,

Krasnodar, Russia, [ruspiter5@mail.ru](mailto:ruspiter5@mail.ru)

## INVESTIGATION OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF HYBRID COMPOSITES

### Abstract

The problem of increasing reliability, durability and extending functional capabilities of products, units and assemblies operating under multifactor influences (temperature, force, deformation) can be successfully solved by the development and application of hybrid composite materials including high-entropy and ceramic layers. The application of surface layered materials AlCoCrCuFeNi, cBNCoMo/B4CCoMo in the

composition of hybrid composites, contributes to a significant increase in cyclic durability and wear resistance. The results of the conducted tests of composites show that the developed composites are promising for application in various industries (including oil and gas), where high strength and wear resistance of materials are required.

*Keywords:* composites; ceramics; wear.

УДК 629.5

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-238

А.Н. Абрамов, В.Ю. Шолом, В.С. Жернаков  
«Технопарк ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ»,  
г.Уфа, Россия, abramov@rosoil.ru

## **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ЭТАПЫ ВНЕДРЕНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНОПАРКА «ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ»**

### **Аннотация**

Показан подход к процессам разработки, создания и внедрения смазочных материалов «Росойл». Дано краткое описание методов и оборудования для испытаний смазочно-охлаждающих жидкостей, смазочных материалов и технологических сред со специальными свойствами применяемых в процессах металлообработки, при консервации металлоизделий и в узлах деталей машин.

*Ключевые слова:* металлообработка, смазочные материалы «Росойл», методы испытаний, лабораторное оборудование.

### **Введение**

Сегодня в мире около 1400 предприятий, которые фокусируются на крупнотоннажном производстве моторных, трансмиссионных и гидравлических масел. Существуют около 1200 независимых компаний-производителей смазочных материалов, которые сосредоточены на производстве специальных продуктах и смазочных материалов на заказ с оказанием сервисных услуг заказчикам [1].

К таким независимым компаниям, производящим продукцию малотоннажной химии со специальными свойствами можно отнести и «Технопарк ХТЦ УАИ-РОСОЙЛ».

С самого начала создания смазочной тематики в ООО «ХТЦ УАИ» был заложен цикл – от постановки задачи до реализации конечного продукта – разработка, лабораторные испытания, подготовка документации, сертификация продукции, внедрение его в производство.

На рисунке 1 показана схема процесса разработки и внедрения смазочных материалов для операций металлообработки, которая, по мнению авторов, наиболее полно отражает все стадии процесса рождения новых смазочных материалов и технологических сред для процессов металлообработки и их внедрения в производство.

При разработке новых композиций смазочных материалов различного назначения сотрудниками технопарка создан комплекс методов испытаний в лабораторных с учетом современных требований, которые на сегодняшний день выдвигают промышленные предприятия [2-6].