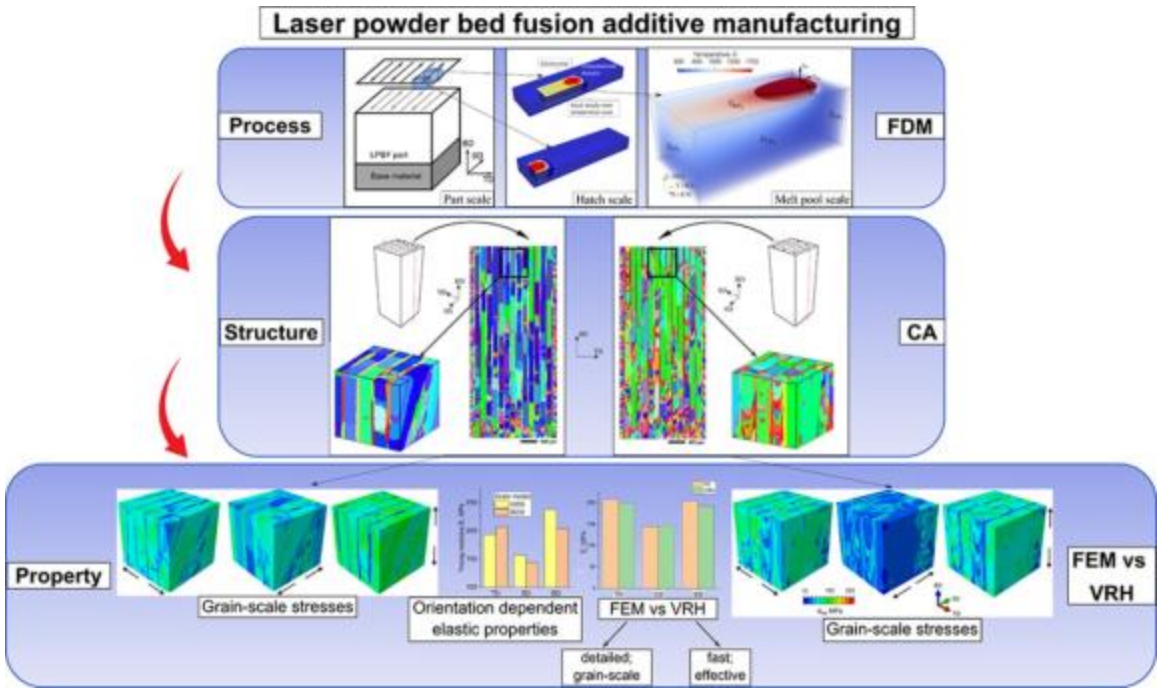
**Проект FWRW-2021-0002**
**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ АДДИТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**В.А. Романова** (varvara@ispms.ru), **Р.Р. Балохонов** ( rusy@ispms.ru)

Публикация: O. Zinovieva, V. Romanova, A. Zinoviev, O. Nekhorosheva, R. Balokhonov, Elastic properties of additively manufactured steel produced with different scan strategies, Int. J. Mech. Sci. 244 (2023), 108089. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2022.108089. Импакт–фактор журнала 7.3

Одной из ключевых проблем современного аддитивного производства металлических изделий является крайняя сложность прогнозирования их структуры и механических свойств вследствие сильно неравновесного характера физических процессов в зоне формирования нового слоя материала. Авторами предложен новый подход к решению этой проблемы, базирующийся на компьютерном моделировании формирования нового слоя изделия с использованием гибридной модели, объединяющей методы клеточных автоматов, конечных разностей и конечных элементов для описания теплопереноса, формирования зеренной структуры и оценки эффективных свойств конечного материала. На примере стали 316L, получаемой методом селективного лазерного плавления, проведена валидация разработанного подхода, выявлено влияние стратегии сканирования на эффективные свойства стали и показана применимость развитой методики виртуального тестирования для оптимизации конечной структуры материала. Результаты исследования актуальны для создания как цифровых двойников процессов аддитивного получения металлических материалов, так и цифровых двойников аддитивных материалов.




Схематическое изображение основных этапов виртуального тестирования процесса аддитивного производства металлического изделия и оценки внутренних напряжений и эффективных механических свойств.

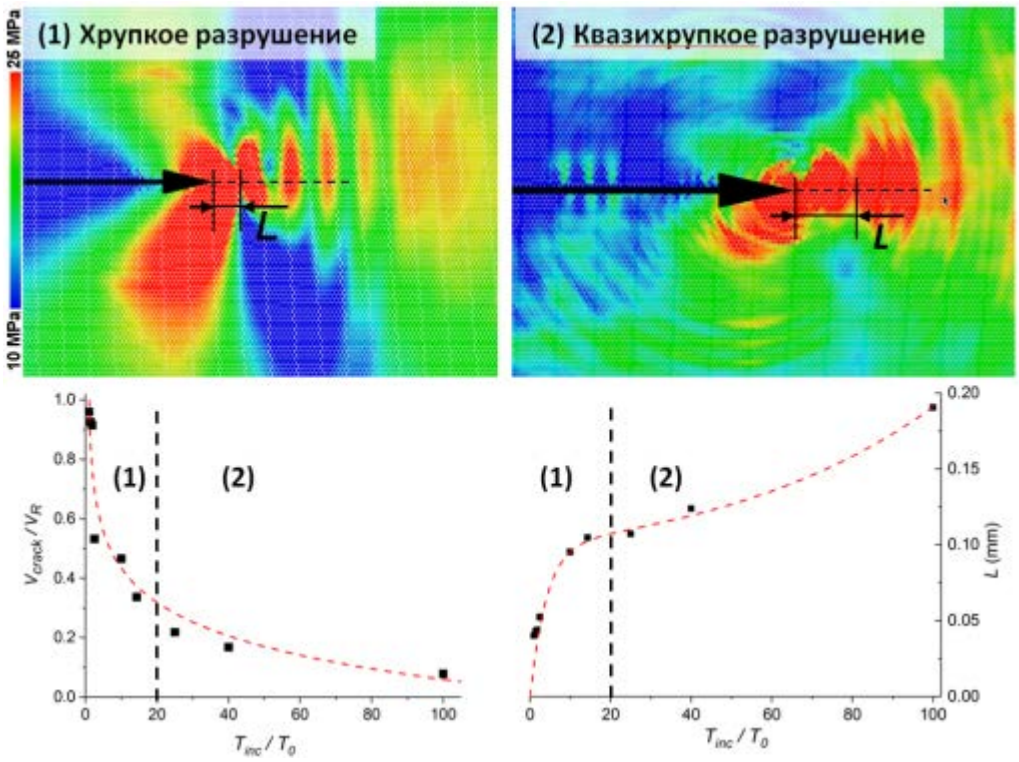
**Проект FWRW-2021-0002**

## ВРЕМЯ ИНКУБАЦИИ ЛОКАЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ КАК МАТЕРИАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТР, УПРАВЛЯЮЩИЙ РЕЖИМОМ РОСТА ТРЕЩИН

**А.С. Григорьев** (grigoriev@ispms.ru), **Е.В. Шилько** (shilko@ispms.ru)

Публикация: A.S. Grigoriev Features of shear crack growth dynamics in heterogeneous brittle materials, Russ. Phys. J. 65 (2023), 2216–2223. DOI: 10.1007/s11182-023-02893-5. Импакт–фактор журнала 0.6

Прогнозирование и управление режимом роста трещин в хрупких материалах относится к числу актуальнейших проблем, решение которых позволит расширить область применения материалов данного класса. Одной из задач является поиск структурно-зависимого макроскопического параметра разрушения, который может выступать критерием оптимизации внутренней структуры. В механике разрушения таким параметром традиционно считается размер когезионной зоны (зоны предразрушения вблизи вершины растущей трещины). В новом теоретическом исследовании, проведенном с использованием оригинальной динамической модели разрушения, впервые показано, что истинным материальным параметром, контролирующим характерную скорость и режим роста трещин, является время инкубации локального разрушения материала. На примере трещины продольного сдвига показано как масштаб величины этого параметра управляет динамикой роста трещин и определяет переход от типично хрупкого разрушения к квазихрупкому. Время инкубации разрушения однозначно связано с характеристиками внутренней структуры материала и пространственным масштабом. Это делает физически обоснованным его использование в качестве критерия оптимизации структуры материала для управления динамикой разрушения и в конечном итоге – вязкостью разрушения.




Поля интенсивности напряжений вблизи вершины растущей трещины в хрупком (1) и квазихрупком (2) материалах, а также зависимости скорости трещины ($V_{crack}$) и характерной длины когезионной зоны ($L$) от времени инкубации разрушения ($T_{inc}$)

**Проект FWRW-2021-0003**

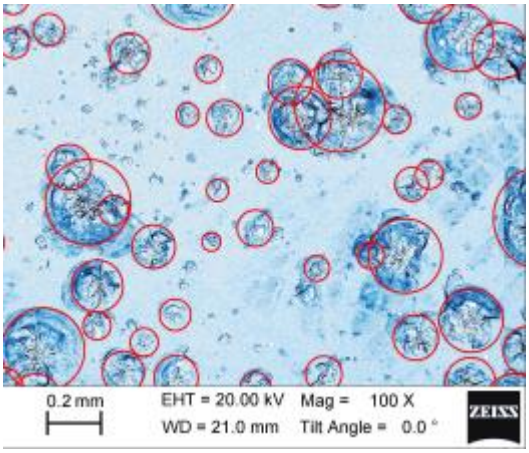
# ПРОТИВОЭРРОЗИОННЫЙ ЭФФЕКТ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПОКРЫТИЙ НА КВАРЦЕВЫХ СТЕКЛАХ ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ГИПЕРСКОРОСТНЫМИ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ

**В.П. Сергеев** (vs@ispms.ru), **М.В. Федорищева** (fed_mv@mail.ru), **Р.Б. Турсунханова** (iriska_23.97@mail.ru), **О.В. Сергеев** (tehnovak@sibnet.ru), **М.П. Калашников** (kmp1980@mail.ru)

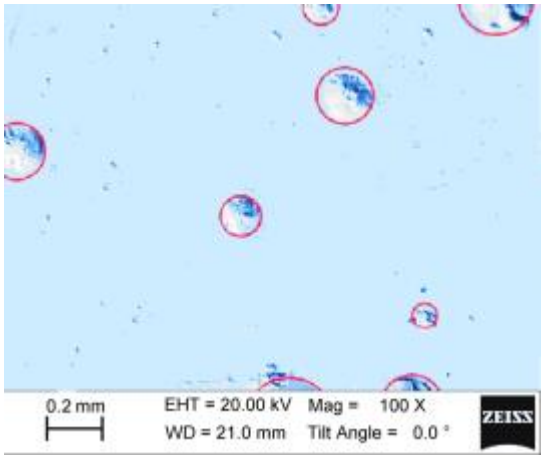
Публикации: Tursunkhanova R.B., Sergeev V.P., Kalashnikov M.P., Sergeev O.V., Neufeld V.V. The effect of indium–tin oxide coatings on the formation of craters on glass surfaces under the impact of high-velocity microparticles// Acta Austronautica. – 2023. – Vol.204. – P. 863 - 868. DOI: 10.1016/j.actaastro.2022.10.047 , импакт–фактор журнала 3.5

2. Sergeev Victor Petrovich, Tursunkhanova Ryskul Bolatkyzy, Kalashnikov Mark Petrovich, Sergeev Oleg Viktorovich, Voronov Andrey Viktorovich, Neyfeld Vasily Viktorovich. The peculiar alterations of the optical and mechanical characteristics of the quartz glass plates with a reinforcing coating under the collision with a hyper-velocity flux of microparticles // Acta Austronautica (в печати). Импакт–фактор журнала 3.5

Исследовано формирование защитных оптически прозрачных многоуровневых покрытий на основе оксидов переходных металлов на кварцевых стеклах методом импульсного ионно-магнетронного распыления композиционных мишеней и имплантации высокоэнергетическими ионными пучками и механизмы влияния таких покрытий на локальные разрушения поверхностного слоя стекол при ударах гиперскоростных микрочастиц. Установлено, что многоуровневое покрытие понижает способность поверхностного слоя стекла генерировать микротрещины при ударах частиц ниже критического размера, что может кратно уменьшать количество мелких кратеров, образующихся на поверхности. Стекло с покрытием приобретает уникальные физико-механические свойства и противоэрозионную стойкость к ударному воздействию гиперскоростных твердых микрочастиц, что существенно увеличивает срок службы иллюминаторов космических аппаратов. Покрытия оставляют стекла прозрачными для видимого света, и эффективно задерживают излучение в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра.




а




б

Различие поверхностной плотности кратеров, образовавшихся на поверхности стекол без покрытия (а) и с защитным покрытием (б) в результате ударного воздействия одного и того же потока гиперскоростных твердых микрочастиц

**Проект FWRW-2021-0003**

# КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И ТОНКАЯ СТРУКТУРА ОКСИДНЫХ СЛОЕВ СПЛАВОВ НИКЕЛИДА ТИТАНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ И ИОННО-ПУЧКОВЫМ СПОСОБАМИ

**В.О. Семин** (viktor.semin.tsk@gmail.com), **Ф.А. Дьяченко, А.В. Еркович, М.Г. Остапенко, А.П. Чернова, И.А. Шулепов, К.П. Савкин, Е.Д. Хабибова, С.И. Южакова, Л.Л. Мейснер**
ИФПМ СО РАН, НИ ТПУ, ИСЭ СО РАН

Публикация: V.O. Semin, F.A. D'yachenko, A.V. Erkovich, M.G. Ostapenko, A.P. Chernova, I.A. Shulepov, K.P. Savkin, E.D. Khabibova, S.I. Yuzhakova, L.L. Meinser. Characterization of corrosion properties, structure and chemistry of titanium-implanted TiNi shape memory alloy//Materials Characterization. – 2023. – Vol. 206. – P. 113457, DOI: 10.1016/j.matchar.2023.113457, импакт-фактор журнала 4.7

Впервые установлены физические причины, отвечающие за электрохимические свойства сплава TiNi. Показано, что коррозионная стойкость сплава TiNi в физиологических растворах определяется не толщиной, а структурно-фазовым состоянием поверхностных оксидных слоев и их токопроводящими свойствами. Например, поверхностная обработка образцов TiNi пучками ионов титана со средней энергией ~66 кэВ и дозой 1⋅$10^{17}$ ион/$см^2$ привела к изменению фазового состава и структуры оксидного слоя. Ионно-пучковая обработка привела к увеличению толщины оксидной пленки с ~2.5 нм до ~15 нм, по сравнению с ее толщиной в образцах TiNi после традиционной электрохимической обработки, и аморфизации нижележащего 70 нм-подслоя TiNi. Несмотря на это ионно-модифицированный сплав проявил более низкую коррозионную стойкость, характеризовался большим количеством коррозионных повреждений из-за окисления никеля до $Ni^{2+}$ и выходом его в физраствор через оксидный слой из аморфного подслоя. Научная значимость результата заключается в выявлении и научном обосновании выбора эффективного способа модификации поверхности TiNi сплава для повышения его коррозионной стойкости.

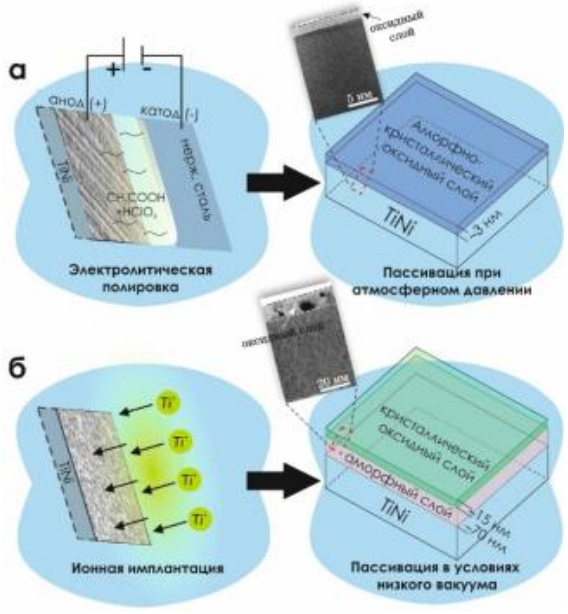



Схема формирования оксидных слоев на поверхности TiNi сплавов в результате электролитической полировки (а) и высокодозовой имплантации ионов Ti (б)

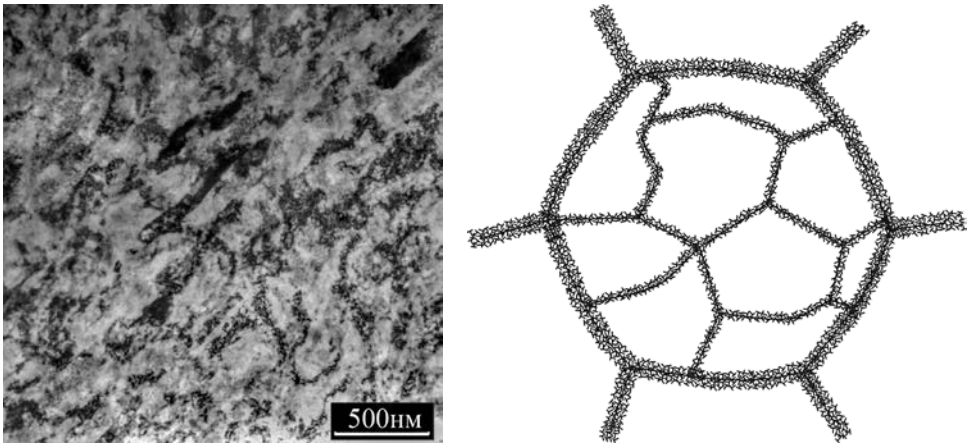
**Проект FWRW-2021-0004**

# МЕХАНИЗМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЁРЕННОЙ СТРУКТУРЫ В СПЛАВЕ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

**А.И. Лотков**[1] **(**lotkov@ispms.ru), **В.Н. Гришков**[1] (grish@ispms.ru)**, Р. Лаптев**[2] **(**laptevrs@tpu.ru)**, Д.Ю. Жапова**[1] (dorzh@ispms.ru)**, Н. Гирсова**[1] (girsova@ispms.ru), **А. Гусаренко**[1] (aag@ispms.ru)
[1] ИФПМ СО РАН; [2]НИ ТПУ

Публикация: Effect of Isochronous Annealing on the Microstructure and Mechanical Properties of the $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ (at.%) Alloy after abc Pressing at 573 K. Metals 2023, 13, 1632- DOI:10.3390/met13101632 , импакт–фактор журнала 2.9

Методом просвечивающей электронной микроскопии установлено, что образцы сплава TiNi (Ni – 50,2ат.% ) с исходной средней величиной зёрен 26 мкм после abc прессования при 573К с заданной величиной истинной деформации e = 9.55 имеют микрополосовую структуру со средним размером зёрен-субзёрен 130 нм. В микрополосах наблюдаются конгломераты преимущественно субзёрен величиной до ~ 250 нм, внутри которых отсутствует характерный контраст, который наблюдается при наличии внутри них дислокаций. Эти конгломераты субзёрен и субзёрна окружены областями с высокой плотностью дислокаций, то есть представляют собой ячеистую структуру; средний размер ячейки 15 – 20 нм. Следовательно, механизмом измельчения зёрен в сплавах на основе никелида титана при интенсивной пластической деформации является динамическая рекристаллизация.




а) б)

Светлопольное изображение микроструктуры образцов TiNi (Ni – 50,2ат.% ) после abc прессования при 573 К с деформацией e=9,55 (а) и схема ячеистой структуры (б)

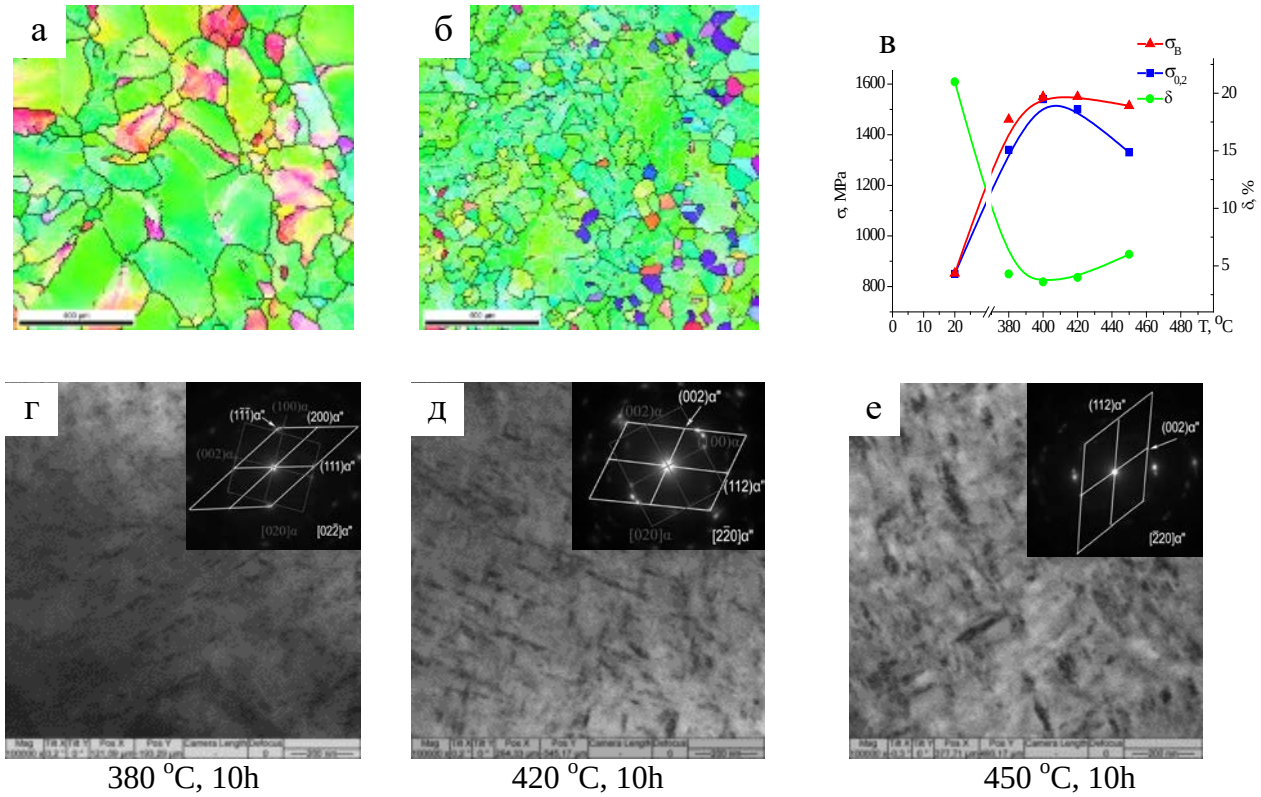
**Проект FWRW-2021-0004**

# СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА β ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПОСЛЕ РОТАЦИОННОЙ КОВКИ И СТАРЕНИЯ

**Е.В. Найденкин** (nev@ispms.ru), **И.П. Мишин** (mip@ispms.ru), **О.В. Забудченко** (lekalune@mail.ru), **О.Н. Лыкова** (lon8@yandex.ru), **А.И. Манишева** (manischeva_ai@ispms.ru)

Публикация: E.V. Naydenkin, I.P. Mishin, O.V. Zabudchenko, O.N. Lykova, A.I. Manisheva Structural-phase state and mechanical properties of β titanium alloy produced by rotary swaging with subsequent aging, Journal of Alloys and Compounds. – 2023. – Vol.935. – P. 167973. DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.167973, импакт–фактор журнала 6.014

Ротационная ковка с последующим старением приводит к измельчению зеренной структуры β титанового сплава Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn-1Zr-1Mo и выделению пластинчатой α/α"- фазы с объемной долей до 20 % и толщиной пластин от 7 до 35 нм в зависимости от температуры старения. Изучение механических свойств показало, что ротационная ковка при температуре 800°C и последующее старение при температуре 420°C, 10 часов приводит к почти двукратному повышению предела прочности сплава с 800 до 1550 МПа при сохранении удовлетворительной величины деформации до разрушения (~4%). Повышение температуры старения до 450 °C приводит к снижению прочностных характеристик сплава за счет коагуляции выделений α/α"- фазы и снижения внутренних напряжений в β-фазе. Полученные результаты создают хорошие предпосылки для практического применения высокопрочного β титанового сплава, в том числе в авиакосмической промышленности.




Микроструктура и механические свойства β-титанового сплава после ротационной ковки и старения: а – исходное состояние, б – после ротационной ковки, в – механические свойства в зависимости от температуры старения, г-е – микроструктура после старения при температурах 380-450 °C.

**Проект FWRW-2021-0005**

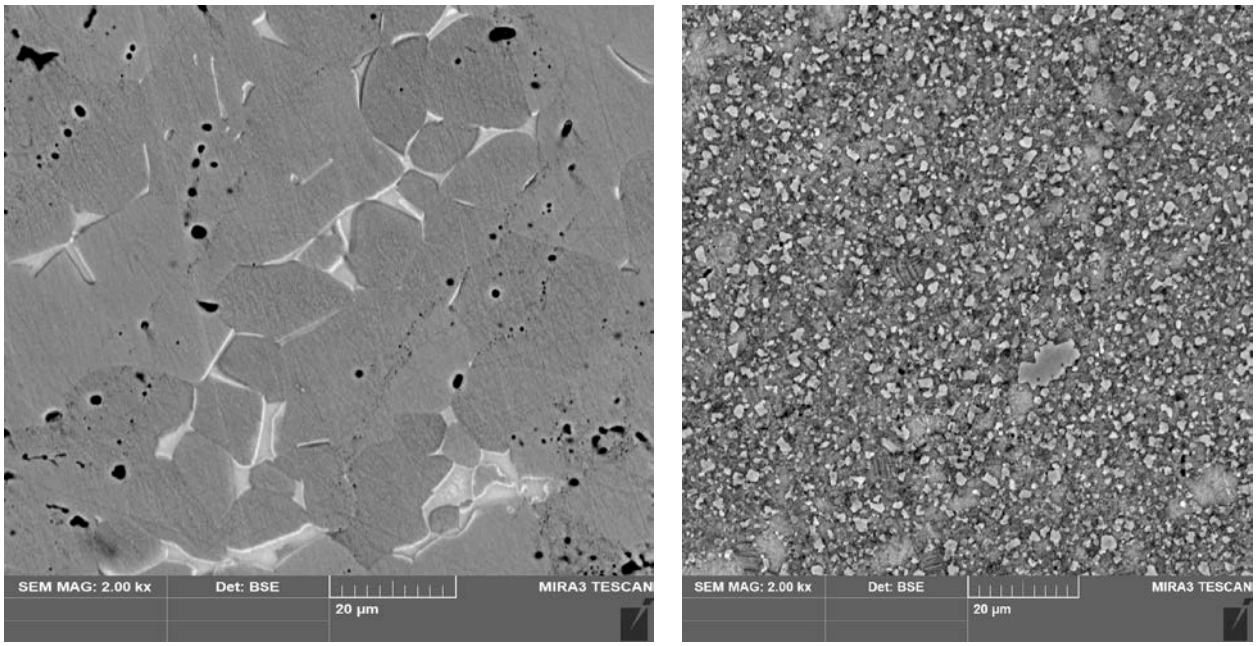
## ТИТАНОМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ, УПРОЧНЕННЫЕ СУБМИКРОННОЙ КАРБИДНОЙ ФАЗОЙ

**Прибытков Г.А.** (gapribyt@ispms.ru)**, Барановский А.В., Коржова В.В., Фирсина И.А., Кривопалов В.П.**

Публикация: Pribytkov G. A., Firsina I. A., Baranovskiy A. V., Krivopalov V. P. Hot consolidation of titanium powders // Powders. – 2023. – Vol. 2. – P. 484–492. DOI: 10.3390/powders2020029, первый год публикаций журнала – 2022.

Разработан способ получения композиционного материала со структурой металломатричного композита. Материал представляет собой титановую связку, упрочненную субмикронными частицами карбида титана, равномерно распределенными по объему. Композиционный порошок получается путем интенсивной обработки порошка титана в планетарной шаровой мельнице в среде углеводородных жидкостей (этанол, толуол).

Полученный композиционный порошок можно использовать для получения плотных заготовок и изделий различными методами компактирования: горячее прессование, спекание (в том числе искровое плазменное спекание), аддитивные технологии.




а) б)

Микроструктура пластинок, полученных горячим уплотнением порошка ТПП-8, механоактивированного в среде этанола в течение 5 минут (а) и 30 минут (б). (После горячего уплотнения пластинки отжигались 2 часа при 870 С)

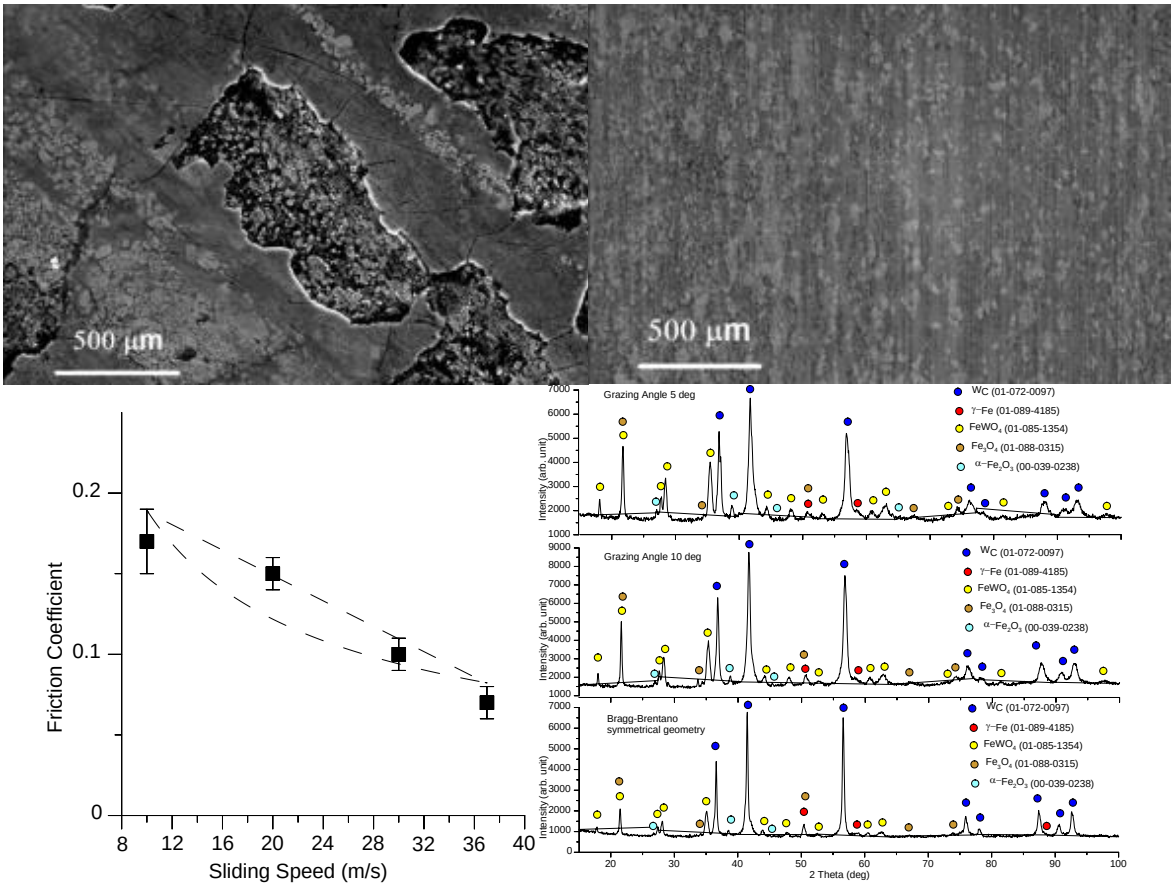
**Проект FWRW-2021-0006**

## ЭФФЕКТ ТРИБОХИМИЧЕСКОГО САМОСМАЗЫВАНИЯ В КОМПОЗИТЕ WC-СТАЛЬ ГАДФИЛЬДА

**Н.Л. Савченко** (savnick@ispms.ru), **И.Н. Севостьянова** (sevir@ispms.ru), и др.

Публикация: Savchenko, N.; Sevostyanova, I.; Panfilov, A.; Moskvichev, E.; Utyaganova, V.; Vorontsov, A.; Tarasov, S. Towards Self-Lubricating Effect of In Situ Iron Tungstate in Rubbing WC/Mn13 Steel Cermet against a HSS Steel. Lubricants 2023, 11, 365. DOI: 10.3390/lubricants11090365, импакт-фактор журнала – 3.5

Изучена адаптация структуры приповерхностных областей композита WC-сталь Гадфильда к условиям скольжения по стальному диску со скоростями от 10 до 37 м/с. Максимальный антифрикционный эффект в условиях высокоскоростного скольжения обусловлен формированием $FeWO_4$, обеспечивающим снижение коэффициента трения от ~0,17 до ~0,07 при скольжении со скоростью 10 и 37 м/с, соответственно. При скольжении со скоростью 10 и 20 м/с образовывались микронные механически перемешанные слои толщиной 3–4 мкм, износ которых происходил в основном за счет подповерхностного разрушения и адгезионного отслаивания. При скорости 30–37 м/с формировались бездефектные трибослои толщиной 10–15 мкм, а нижележащие зоны содержали фрагментированные и деформированные зерна WC. Уменьшение коэффициента трения с увеличением скорости скольжения было связано с явлением трибологической адаптации за счет образования самовосстанавливающегося микрокомпозитного защитного пластифицированного слоя, состоящего из мелких частиц WC и оксидов железа, сцементированных образующимся $FeWO_4$.



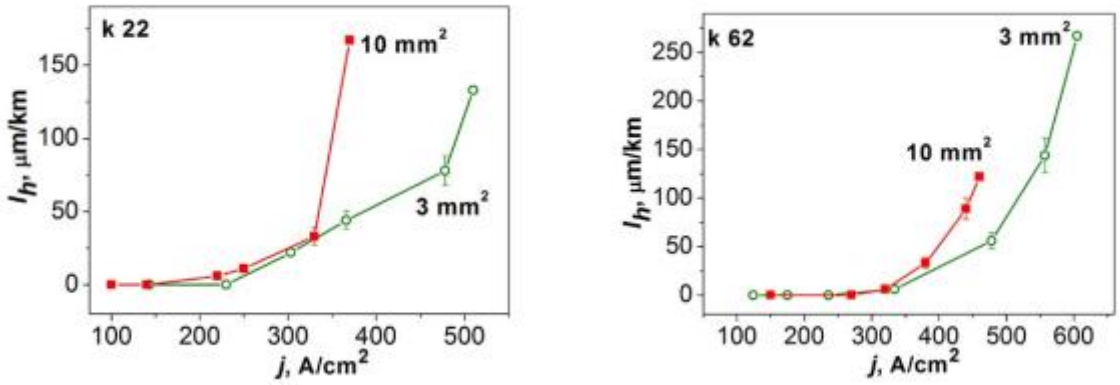
**Проект FWRW-2021-0006**

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУР КОНТАКТНЫХ СЛОЁВ МЕТАЛЛОВ ПРИ СУХОМ СКОЛЬЖЕНИИ ПО СТАЛИ Ст45 ПОД ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ С РАЗНЫМИ ВХОДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТРИБОСИСТЕМЫ

**В.В. Фадин** (fvv@ispms.ru), **М.И. Алеутдинова** (aleut@ispms.ru)

Публикация: M.I. Aleutdinova and V.V. Fadin. Variations in the contact layer structure of low-carbon steel in sliding against a steel counterbody with different nominal contact areas under a high-density electric current//Russian Physics Journal. 2023. Vol.66. № 6, P. 605-611. DOI: 10.1007/s11182-023-02982-5, импакт-фактор журнала – 0.6

Осуществлено сухое скольжение модельных образцов стали Ст3 по стали Ст45 под воздействием переменного электрического тока высокой плотности с целью поиска параметров, вызывающих снижение износа. Было показано, что износ заметно уменьшался при увеличении коэффициента трансформации питающего трансформатора и при уменьшении площади номинального контакта. Показано, что образование трибослоев, содержащих FeO и уменьшение износа может быть связано с уменьшением скорости образования FeO в трибослое. Изучение морфологических особенностей поверхности трения показало, что часть номинальной поверхности контакта имела признаки образования жидкой фазы, которая способствовала быстрой релаксации механических напряжений в пятнах контакта и обусловливала снижение износа. Этот механизм деформации поверхности контакта не описан в научной литературе.




а) б)

Токовые зависимости интенсивности изнашивания стали Ст3 при разных номинальных площадях контакта и коэффициентах трансформации k=22 (а) и k=62 (б) по схеме скольжения “pin-on-disk” и скорости скольжения 5 м/с

**Проект FWRW-2021-0007**

## СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ И ЗАРЯДОВЫХ СВОЙСТВ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ БИКОМПОНЕНТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

**М.И. Лернер** (lerner@ispms.ru)**, О.В. Бакина** (ovbakina@ispms.ru)**, С.О. Казанцев** (kzso@ispms.ru)**, Е.А. Глазкова** (eagl@ispms.ru)**, Н.В. Сваровская** (nvsv@ispms.ru)

Публикация: M. I. Lerner, O. V. Bakina, S. O. Kazantsev, E. A. Glazkova, N. V. Svarovskaya. Silver-Containing Bicomponent Nanoparticles: Relationship between Morphology and Electrokinetic Potential //Colloid Journal, 2023, Vol. 85, №. 4, pp. 520-530. DOI**:** 10.1134/S1061933X23600422, импакт-фактор журнала 1.119

В настоящее время большое внимание уделяется разработке антимикробных полимерных изделий и покрытий, предотвращающих размножение и распространение микроорганизмов. Для придания антимикробных свойств полимерным покрытиям целесообразно использовать бикомпонентные серебросодержащие наночастицы $TiO_2$/Ag, Cu/Ag и ZnO/Ag, полученные электрическим взрывом проволок. Установлено, что локализация серебра в наночастицах определяет заряд их поверхности, который изменяется в ряду TiO2/Ag (ζ = –19 мВ) - Cu/Ag (ζ = 5 мВ) - ZnO/Ag (ζ = 35 мВ). Снижение жизнеспособности и гибель отрицательно заряженных бактериальных клеток обусловлена взаимодействием бактерий с положительно заряженными наночастицами. Поэтому антибактериальная активность наночастиц ZnO/Ag, обладающих наибольшим положительным электрокинетическим потенциалом существенно выше по сравнению с наночастицами $TiO_2$/Ag и Cu/Ag. Полученные результаты дают возможность управлять антимикробной активностью бикомпонентных наночастиц.

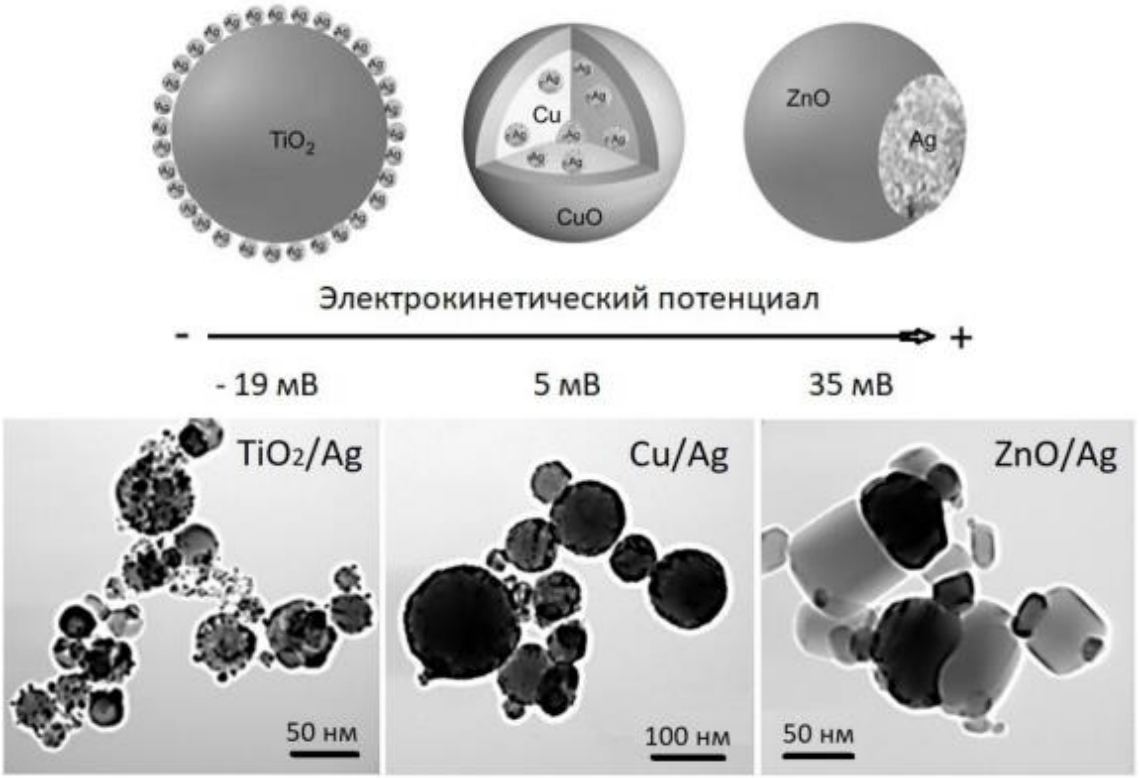



Рисунок – Схематичные и ПЭМ изображения бикомпонентных наночастиц

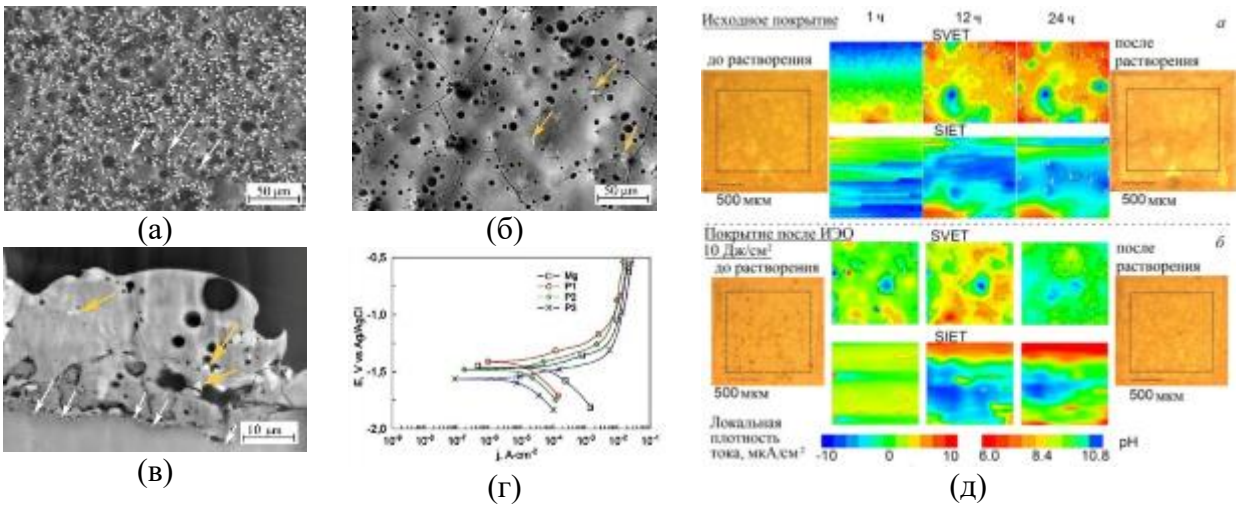
**Проект FWRW-2021-0007**

# ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, АДГЕЗИОННЫЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА МИКРОДУГОВЫХ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВЕ Mg0,8Ca

**М.Б. Седельникова** (mariyased@ispms.ru), **Ю.П. Шаркеев** (sharkeev@ispms.ru), **А.Д. Кашин** (kash@ispms.ru), **K.V. Ivanov** (ikv@ispms.ru), **П.В. Уваркин** (uvarkin@ispms.ru), **Т.В. Толкачева** (tolkacheva@ispms.ru), **А.И. Толмачев** (tolmach@ispms.ru)

Публикация: M.B. Sedelnikova, K.V. Ivanov, A.V. Ugodchikova, A.D. Kashin, P.V. Uvarkin, Yu.P. Sharkeev, T.V. Tolkacheva, A.I. Tolmachev, J. Schmidt, V.S. Egorkin, A.S. Gnedenkov, The effect of pulsed electron irradiation on the structure, phase composition, adhesion and corrosion properties of calcium phosphate coating on Mg0.8Ca alloy // Materials Chemistry and Physics 294 (2023), 126996, DOI**:** 10.1016/j.matchemphys.2022.126996, импакт–фактор журнала 4.778

Изучено влияние импульсного электронного облучения (ИЭО) на морфологию поверхности, структуру, фазовый состав, адгезионные и коррозионные свойства микродуговых покрытий с частицами β-трикальцийфосфата (β-ТКФ) на сплаве Mg0,8Ca. При обработке покрытия с плотностью энергии 10 Дж/см$^2$ формируется проплавленный пористый слой, а также более плотный переходный слой между покрытием и подложкой. Поверхностный слой покрытия обогащается элементами Ca и P за счет расплавления частиц β-ТКФ. Обработка ИЭО способствует увеличению адгезионной прочности покрытия. Методами потенциодинамической поляризации и локального электрохимического анализа (SVET, SIET) установлено что покрытие, обработанное ИЭО, проявляет меньшую коррозионную активность по сравнению с исходным, не модифицированным состоянием.




СЭМ-изображения покрытий на сплаве Mg0,8Ca: (а) - исходное покрытие, (б) - после обработки ИЭО (10 Дж/см$^2$), (в) - поперечное сечение покрытия после обработки ИЭО (10 Дж/см$^2$); (г) - потенциодинамические поляризационные кривые коррозии, (д) -карты SVET (локальная плотность тока) и SIET (локальное распределение pH) через 1 час, 12 часов, 24 часа воздействия раствором 0,9 % NaCl

**Проект FWRW-2021-0008**

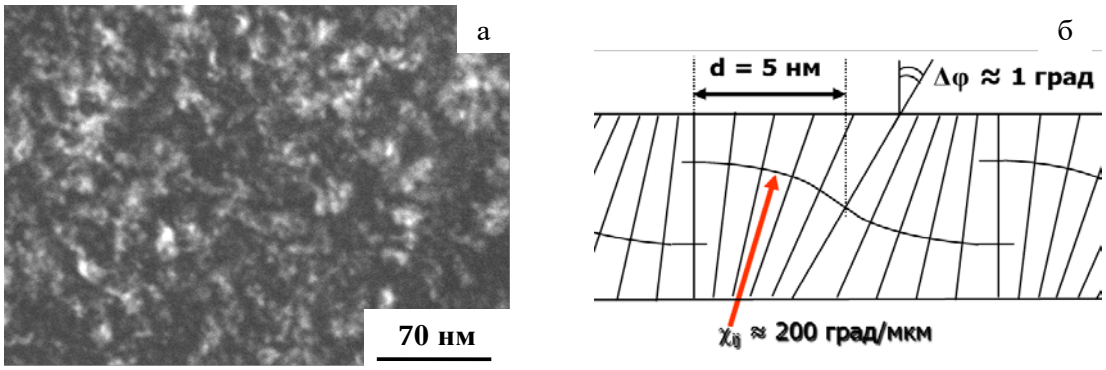
# НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ НАНОМАСШТАБНОГО УРОВНЯ ДЕФОРМАЦИИ В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ВАНАДИЯ

**А.Н. Тюменцев**[1,2] (atyumentsev@ispms.ru), **И.В Смирнов**[1,2] (smirnov_iv@ispms.tsc.ru), **Ю.П. Пинжин**[1,2] (pinzhin@phys.tsu.ru), **К.В. Гриняев**[1,2] (kvgrinyaev@ispms.tsc.ru), **И.А. Дитенберг**[1,2] (ditenbergia@ispms.tsc.ru), **В.М. Черенов**[3] (VMChernov@bochvar.ru)

[1]ИФПМ СО РАН, [2]НИ ТГУ , [3]АО «ВНИИНМ»

Публикация: Тюменцев А.Н., Смирнов И.В., Пинжин Ю.П., Гриняев К.В., Дитенберг И.А., Чернов В.М. Особенности однородной деформации ОЦК→ГПУ→ОЦК превращений на наномасштабном уровне в сплавах на основе ванадия // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2023. – Т. 66, № 7. – С. 126 – 129. DOI: 10.17223/00213411/66/7/15, импакт-фактор журнала 0.330

В сплавах на основе V обнаружены новые механизмы пластической деформации – однородная деформация обратимых (ОЦК→ГПУ→ОЦК) превращений типа деформации Бейна с изменением систем обратных превращений и (или) участием квазивязкого массопереноса в полях высоких локальных градиентов давления. В основе их активизации лежит явление фазовой нестабильности кристалла в полях высоких локальных напряжений. Носителями пластической деформации в зонах указанных выше превращений являются нано-объемы с высокими значениями кривизны кристаллической решетки и градиентов внутренних напряжений. Важной особенностью этих носителей является отсутствие эффективных препятствий типа дислокаций, границ разориентации или частиц вторичных упрочняющих фаз. Совместно с высокими скоростями релаксации высокодефектных субструктур деформации в условиях фазовой нестабильности кристалла, это приводит к таким явлениям пластической деформации, как сверхвысокая технологическая пластичность, формирование нанокристаллических структур с размерами нанозерен не более 5 нм, значительное снижение температур хладноломкости и повышение характеристик ударной вязкости ванадиевых сплавов.




а – темнопольное изображение;
б – схема переориентации кристаллической решетки.

Нанообъемы ОЦК→ГПУ→ОЦК превращений в зоне роста пластической трещины сплава V-4Cr-4Ti после испытаний на ударную вязкость при температуре -186 °С

**Проект FWRW-2021-0009**

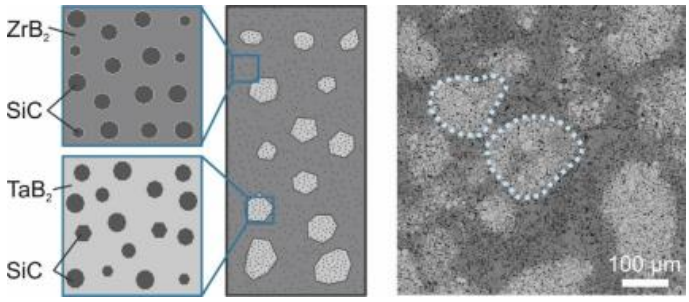
## ВЫСОКОВЯЗКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ СО СТРУКТУРОЙ «DUAL COMPOSITES»

**С.П. Буякова** (sbuyakova@ispms.ru), **А.С. Буяков (**alesbuyakov@ispms.ru**), В.В. Шмаков** (vvs82@tpu.ru)

Публикации: Ales Buyakov, Vasiliy Shmakov, Svetlana Buyakova. Dual composite architectonics: Fracture toughness and self-healing ofZrB2–SiC–TaB2 based UHTC//Ceramics International. – 49 (2023). – 13648–13656. DOI: 10.1016/j.ceramint.2022.12.241, IF = 5.2.

Ales Buyakov, Vasiliy Shmakov, Svetlana Buyakova Dual composite architectonics: Behavior of ZrB2–SiC–TaB2 composites under abrasive conditions//Ceramics International. – 50 (2024). – 1849–1856. DOI: 10.1016/j.ceramint.2023.10.284, импакт–фактор журнала 5.2

Разработаны керамические композиционные материалы со структурой «dual composites». На рисунке представлена структурная схема керамических композиционных материалов и структура полученного двойного композита. В керамической композитной структуре матрицы $ZrB_2$-SiC распределены композитные керамические включения $TaB_2$-SiC. Сравнение свойств керамических композитов со структурой «dual composites» с аналогичными по составу композитами с однофазными включениями в керамической матрице показало, что двойные керамические композиты обладают существенно большей вязкостью разрушения. Двойные композиты с содержанием композитных включений $TaB_2$-SiC - 50 объемн. % в композитной керамической матрице $ZrB_2$-SiC демонстрируют аномально высокий коэффициент интенсивности напряжений, $K_{1c} \approx 11$ МПа*м$^{1/2}$. Изучение кинетики самозалечивания эксплуатационных дефектов в керамических композитах со структурой «dual composites» показало инициирование процесса полного заполнения дефектов при температуре 1400 $^{o}$C, в керамических композитах с однофазными включениями самозалечивание дефектов происходило при более высоких температурах и с меньшей интенсивностью. Структурная организация керамических композитов по принципу «dual composites» оказала влияние на механизм абразивного изнашивания. Абразивное изнашивание керамических композитов с однофазными включениями происходило при образовании подповерхностных трещин с последующим отрывом значительных фрагментов поверхности. Изнашивание композитов со структурой «dual composites» при аналогичном количественном фазовом составе происходило при постепенном «размыванием» границы раздела между матрицей и композитными включениями. Износостойкость к абразивному изнашиванию двойных керамических композитов существенно больше износостойкости керамических композитов с однофазными включениями. Разработанные керамические композиты со структурой «dual composites» имеют высокую температуру плавления (более 2500 $^{o}$C) и предназначены для изготовления элементов машин и механизмов, подверженных воздействию высоких температур и действию абразива. Использование разработанных композитов в силовых агрегатах позволит существенно увеличить их мощность.




Структурная схема и структура двойного керамического композита ($ZrB_2$-SiC)-($TaB_2$-SiC)

**Проект FWRW-2021-0010**

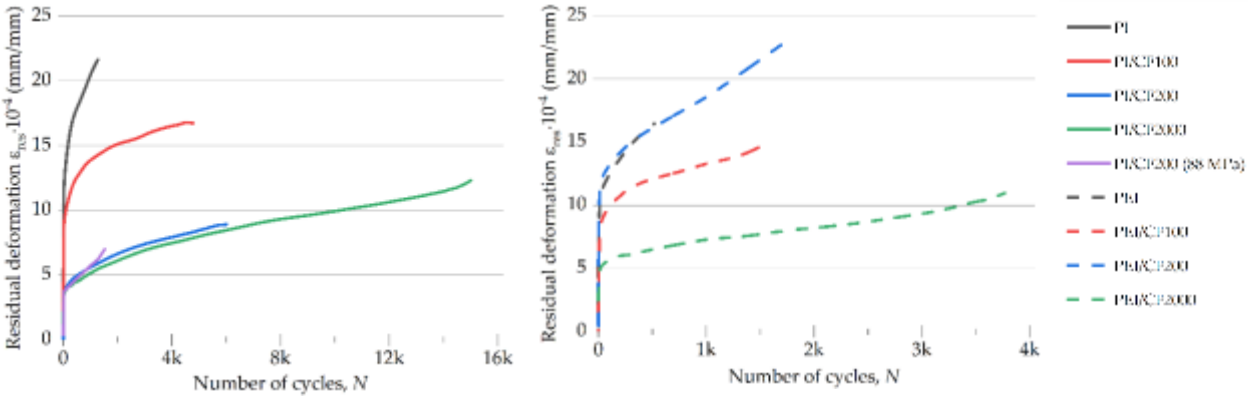
# РОЛЬ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ В РАЗВИТИИ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ ПОЛИИМИДА И ПОЛИЭФИРИМИДА, АРМИРОВАННЫХ КОРОТКИМИ УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ, ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

**С.В. Панин** (svp@ispms.ru), **А.А. Богданов**, **А.А. Еремин**, **Д.Г. Буслович**

Публикация: Panin, S.V.; Bogdanov, A.A.; Eremin, A.V.; Buslovich, D.G.; Shilko, I.S. Effect of Polymer Matrix on Inelastic Strain Development in PI- and PEI-Based Composites Reinforced with Short Carbon Fibers under Low-Cyclic Fatigue. Polymers 2023, 15, 1228. DOI: 10.3390/polym15051228 , импакт–фактор журнала 5.0

Установлено влияние типа аморфной полимерной матрицы суперконструкционных полимеров полиимида (ПИ) и полиэфиримида (ПЭИ) на сопротивление малоцикловой усталости композитов, идентично наполненных короткими углеродными волокнами (КУВ) различной длины. Показано, что при аспектном соотношении КУВ, равном 10, разрушение полимеров происходило при существенной роли процессов циклической ползучести. Показано, что в отличие от ПЭИ, ПИ менее склонен к развитию процессов ползучести вследствие большей жесткости молекул полимера. В композитах на основе ПИ, наполненных КУВ с аспектным соотношением 20 и 200, имеет место увеличение продолжительности стадии накопления рассеянных повреждений, обусловливающее существенное повышение их усталостной долговечности. В случае КУВ длиной 2000 мкм длина волокон сравнима с толщиной образца, что приводит к формированию пространственного каркаса из не скреплённых между собой волокон. Большая жесткость молекулы ПИ обеспечивает более эффективное сопротивление накопление рассеянных повреждений при одновременно более высоком сопротивлении усталостной ползучести.

Исследование представляет практический интерес для решения проблем, связанных с мониторингом усталостной долговечности дисперсно-наполненных полимерных композитов.




(а) (б)

Изменение значений остаточной деформации композитов на основе ПИ (а) и ПЭИ (б) при циклических нагрузках

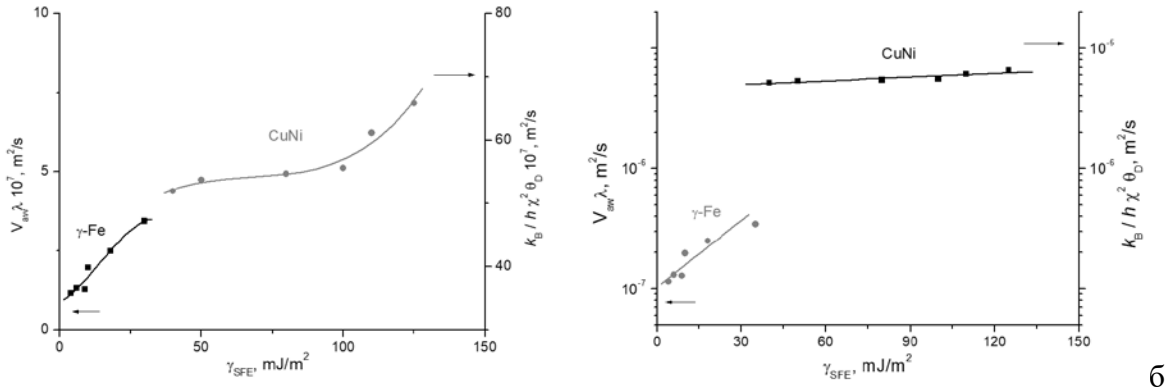
**Проект FWRW-2021-0011**

## ЗАВИСИМОСТЬ АВТОВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧНОСТИ ОТ ЭНЕРГИИ ДЕФЕКТА УПАКОВКИ

**Л.Б. Зуев** (lbz@ispms.ru), **С.А. Баранникова** (bsa@ispms.ru)

Публикация: Zuev L.B. and Barannikova S.A. The macroscopic phenomena in plasticity. Metals. – 2023. – № 13, P. 278. DOI: 10.3390/met13020278 , импакт–фактор журнала 2.9

При анализе зависимости параметра пластичности от энергии дефекта упаковки $\lambda V_{aw}(\gamma_{SFE})$ (рисунок а) для сплавов на основе γ-Fe и Cu-Ni установлено, что $\ln(\lambda V_{aw}) \sim \gamma_{SFE}$ , как это показано на рисунке б. В сплаве железа изменения энергии дефекта упаковки $\gamma_{SFE}$ обеспечивались изменением температуры испытания $T$, а в сплаве на основе меди – изменением содержания никеля $C_i$.




а б

Зависимость параметра пластичности автоволн от энергии дефекта упаковки в легированном γ-Fe (143 ≤ $T$ ≤ 420 K, линейные стадии) и двойных сплавах Cu-Ni (4 ≤ Ni ≤ 64 at.% , параболические стадии) в прямых (а) и полулогарифмических координатах (б). Для значений энергии дефекта упаковки использованы литературные данные

Это означает, что зависимость $\lambda V_{aw}(\gamma_{SFE})$ может быть сведена к уравнению

$$\lambda V_{aw}(T, C_i) \approx K \exp\left[\frac{U_C(\sigma)}{k_B T}\right],$$

где $K$ и $U_C$ – эмпирические константы, $k_B$ – постоянная Больцмана, $\sigma$ - напряжение, λ – длина автоволны локализованной пластичности, а $V_{aw}$ – скорость ее распространения. Полученный результат объясняет температурную зависимость паттерна локализованной пластичности через микроскопические характеристики деформируемой среды (энергию дефекта упаковки).

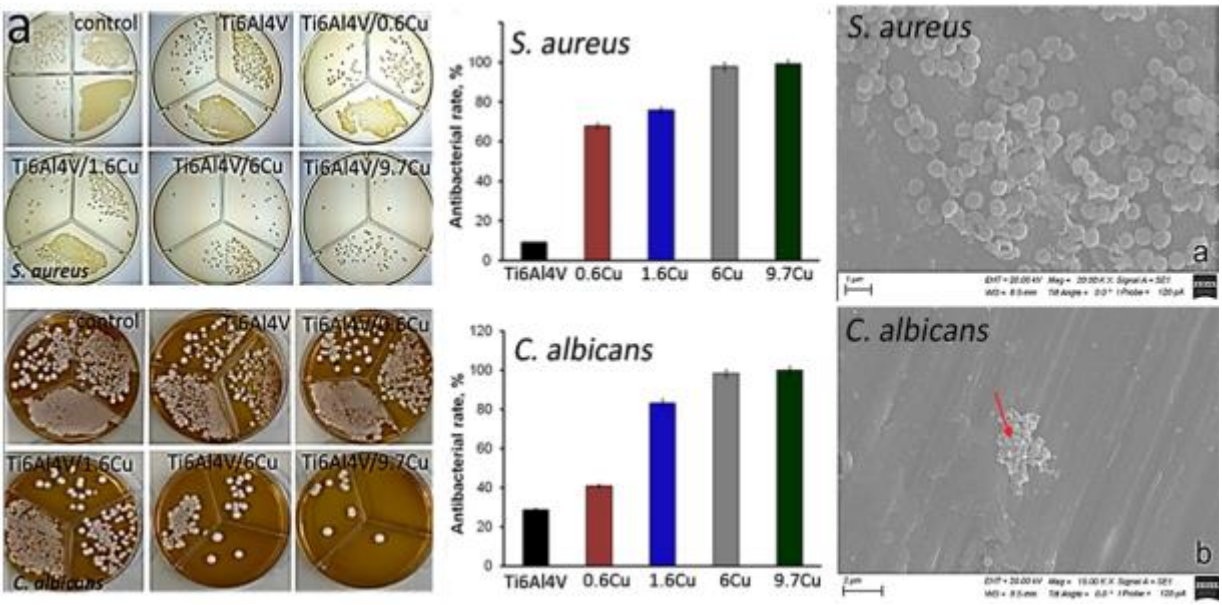
**Проект FWRW-2021-0012**

## РАЗРАБОТАН СПЛАВ Ti6Al4V/Cu С ПОВЫШЕННОЙ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

**А.В. Николаева** (nikolaeva@ispms.tsc.ru), **А.В. Никоненко** (aliska-nik@mail.ru), **О.В. Бакина** (ovbakina@ispms.ru), **В.Р. Чжоу** (valeriya_chzhou99@mail.ru), **А.А. Миллер** (andymiller@yandex.ru), **Н.Г. Родкевич** (ngradk@ispms.ru), **А.П. Зыкова** (zykovaap@ispms.ru)

Публикация: A.V. Nikolaeva, A.V. Nikonenko, O.V. Bakina, V.R. Chzhou, A.A. Miller, N.G. Rodkevich, A.P. Zykova. Copper-bearing titanium alloy prepared by two-wire electron beam additive manufacturing with enhanced antibacterial activity // Materials Letters. – 2023. – Vol. 351. – P. 135051. DOI: 10.1016/j.matlet.2023.135051, импакт–фактор журнала 3.574

Впервые сплавы Ti6Al4V/Cu, полученные с помощью двухпроволочного электронно-лучевого аддитивного производства, были подвергнуты антимикробным испытаниям *in vitro*. Антимикробную активность материалов исследовали в отношении штаммов *S.aureus* и *C.albicans* в зависимости от количества добавленной меди. Увеличение содержания меди в материале до 9,7 масс. % позволило добиться снижения популяции бактерий на медьсодержащей подложке на 99%. Ti6Al4V/Cu с более низкими концентрациями меди были более биосовместимы в зависимости от высвобождения ионов меди. Разработанные сплавы Ti6Al4V/Cu методом двухпроволочного электронно-лучевого аддитивного производства перспективны для изготовления имплантатов с повышенной антимикробной активностью.




Работа выполнена в рамках двух проектов государственного задания ИФПМ СО РАН: FWRW-2021-0012 и FWRW-2022-0002.

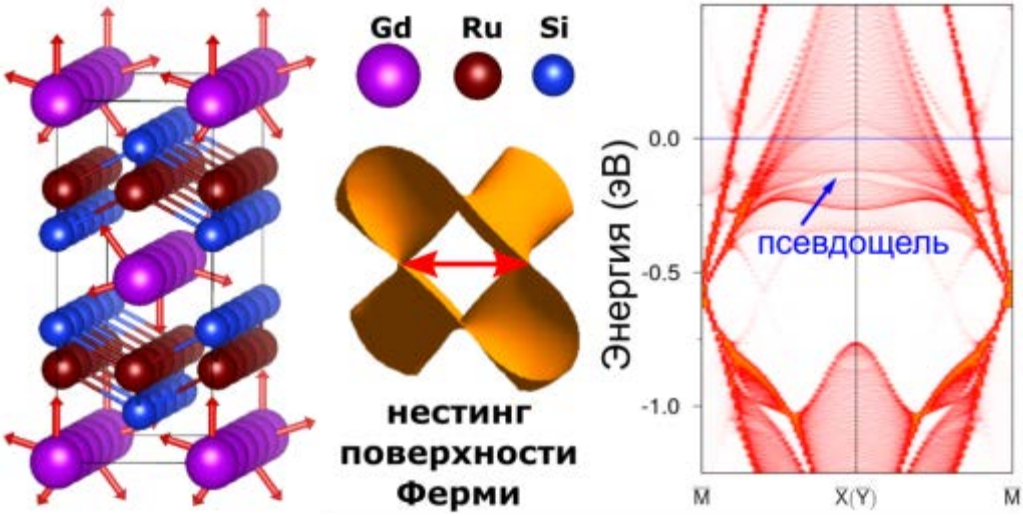
**Проект FWRW-2022-0001**

## МЕХАНИЗМ СТАБИЛИЗАЦИИ СПИРАЛЬНОЙ АНТИФЕРРОМАГНИТНОЙ ФАЗЫ В $GdRu_2Si_2$

**С.В. Еремеев**[1] (eremeev@ispms.ru), **Е.В. Чулков**[2], **Д.Ю. Усачёв**[3], **Д.В. Вялых**[4] и др.
[1] ИФПМ СО РАН; [2] DIPC (Испания); [3] СПбГУ; [4] IKERBASQUE (Испания)

Публикация: S.V. Eremeev, D. Glazkova, G. Poelchen, A. Kraiker, K. Ali, A.V. Tarasov, S. Schulz, K. Kliemt, E.V. Chulkov, V.S. Stolyarov, A. Ernst, C. Krellner, D. Yu. Usachov, D.V. Vyalikh, Insight into the electronic structure of the centrosymmetric skyrmion magnet $GdRu_2Si_2$, **Nanoscale Adv.** – 2023. – Vol. 5, No. 23. – P. 6678–6687. DOI: 10.1039/d3na00435j; импакт–фактор журнала 4.7

Центросимметричный антиферромагнетик $GdRu_2Si_2$ ($T_N$ = 46 K), привлекает огромное внимание в связи с открытием квадратной магнитной скирмионной решетки [Nature Nanotechnol., 15, 444 (2020)]. Данная скирмионная фаза появляется во внешнем магнитном поле ~ 2–2.5 Тл при температурах ниже 20 К и имеет наименьший из найденных до сих пор размер скирмиона, 1.9 нм. Изучение электронной структуры материала и ее изменения при антиферромагнитном переходе, когда устанавливается спиральный порядок 4*f* магнитных моментов в слоях Gd, позволило выявить механизм стабилизации магнитной спирали. Мы идентифицировали лист поверхности Ферми, обеспечивающий нестинг зон с сильной примесью 5*d*-состояний Gd, вектор которого равен вектору спирали, что позволило сделать вывод о том, что RKKY взаимодействие является определяющим в формировании спирального магнитного порядка в $GdRu_2Si_2$ и ответственно за появление скирмионов в этом материале. Результаты полезны для прогнозирования новых скирмионых систем для разработки устройств магнитной памяти следующего поколения с высокой плотностью и малой мощностью.




Спиральная структура магнитных моментов Gd, нестинг поверхности Ферми, стабилизирующий спираль, и спектр электронных состояний в спиральной фазе при наличии двух магнитных доменов с перпендикулярными спиралями.

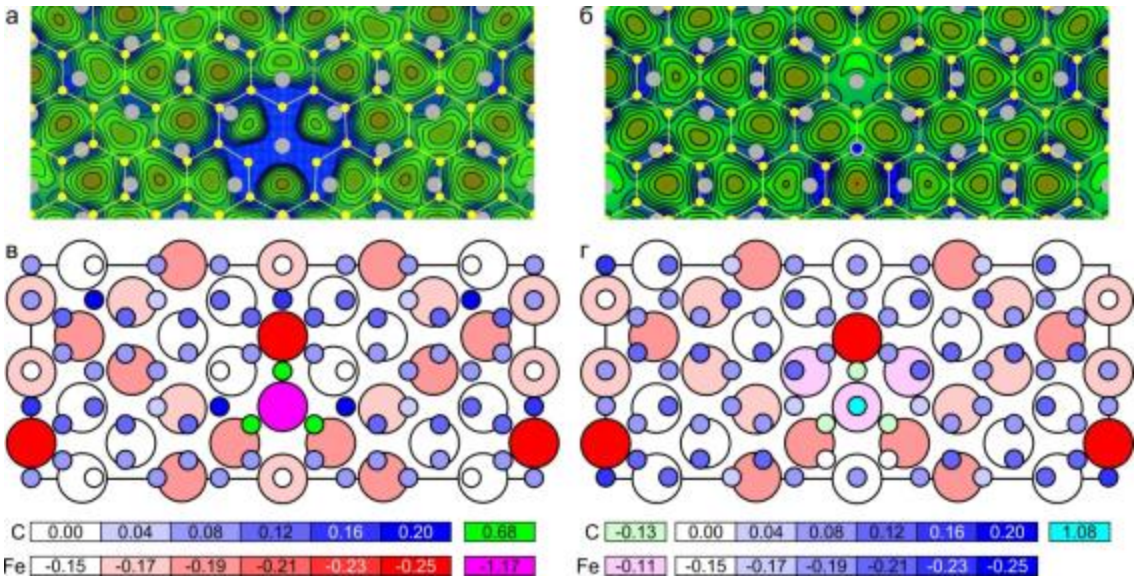
**Проект FWRW-2022-0001**

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕФЕКТНОГО ГРАФЕНА С ЖЕЛЕЗОМ

**С.Е. Кулькова**[1] (kulkova@ispms.ru), **А.В. Бакулин**[1] (bakulin@ispms.ru), **S. Hocker**[2] (stephen.hocker@fmq.uni-stuttgart.de) и др.
[1] ИФПМ СО РАН; [2] FMQ US (Германия)

Публикации: S. Hocker, H. Lipp, S. Schmauder, A.V. Bakulin, S.E. Kulkova, Ab initio investigations of Fe(110)/graphene interfaces, Appl. Surf. Sci. – 2022. – Vol. 598. – P. 153714. DOI: 10.1016/j.apsusc.2022.153714; импакт–фактор журнала 6.7.
S. Hocker, A.V. Bakulin, S.E. Kulkova, H. Lipp, S. Schmauder, Adhesion properties of the B- and N-doped graphene/Fe(110) interface, Surf. Sci. (в печати). импакт–фактор журнала 1.9

Объяснен механизм упрочнения связей графена с поверхностью железа при образовании вакансий и примесей замещения (B, N) в графене. На бездефектных интерфейсах имеет место большой разброс кривизны графенового слоя, межатомных расстояний и магнитных моментов атомов. Эти характеристики зависят от ориентации и смещения графена относительно подложки. Появление вакансии в графене ведет к большему увеличению адгезии, чем легирование бором или азотом. Последнее обусловлено образованием прочных ковалентных связей между атомами углерода, расположенными рядом с вакансией, и ближайшим атомом железа Fe. При этом магнитный момент данного атома существенно уменьшается в случае вакансии, но увеличивается при легировании, тогда как наведенные магнитные моменты на атомах углерода ведут себя противоположно. Примеси замещения (B, N) дают возможность изменять адгезию и магнитные свойства более тонко, чем вакансия. В целом изученные интерфейсы графен/Fe(110) могут быть полезны для применения в спинтронике. Установленные закономерности в изменении магнитных и адгезионных свойств могут быть использованы для оптимизации свойств интерфейсных структур на основе графена.




Распределение полной плотности заряда и зарядовые состояния интерфейсных атомов Fe и C в случае графена с вакансией и с примесью N.

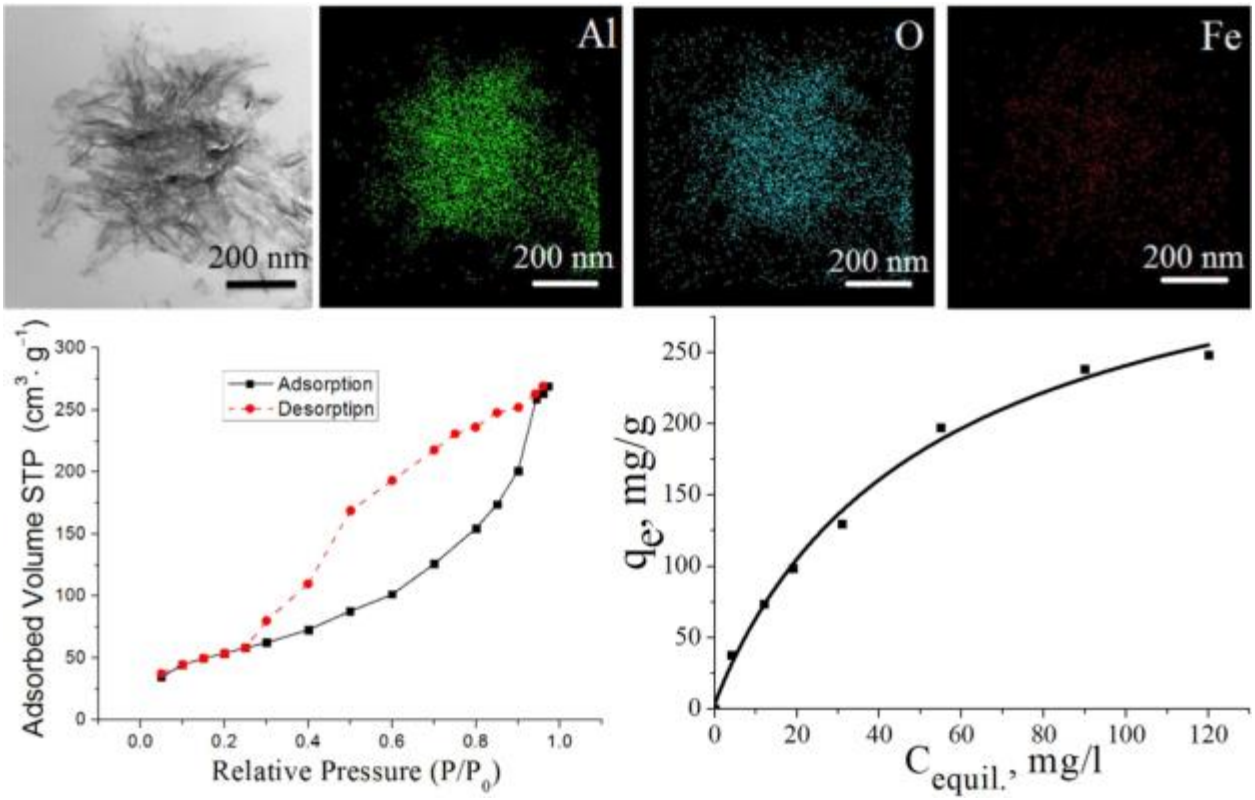
**Проект FWRW-2022-0002**

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СОРБЕНТ МЫШЬЯКА

**С.О. Казанцев** (kzso@ispms.ru), **А.С. Ложкомоев** (asl@ispms.ru)

Публикация: Kazantsev S. O., Suliz K. V., Rodkevich N. G., Lozhkomoev A. S. Sorption Capacity of AlOOH/FeAl2 Composites towards As (V) // Materials. – 2023. – Vol. 16. – № 17. – P. 6057 – DOI: 10.3390/ma16176057, импакт-фактор журнала 3.4

Очистка сточных вод от соединений мышьяка является важной и актуальной проблемой. Разработан адсорбент мышьяка на основе нанолистового бемита, покрытого частицами $FeAl_2$. Композитные наноструктуры, состоящие из соединений бемита и железа, обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к мышьяку форме As(V), 1 г адсорбента способен извлечь из воды до 248 мг канцерогена. Следует отметить, что сорбционная ёмкость композита по отношению к As(V) более чем в 10 раз превышает ёмкость промышленного адсорбента Bioxide E33. Полученные результаты позволяют рассматривать данный материал как перспективный адсорбент для удаления соединений мышьяка из воды.



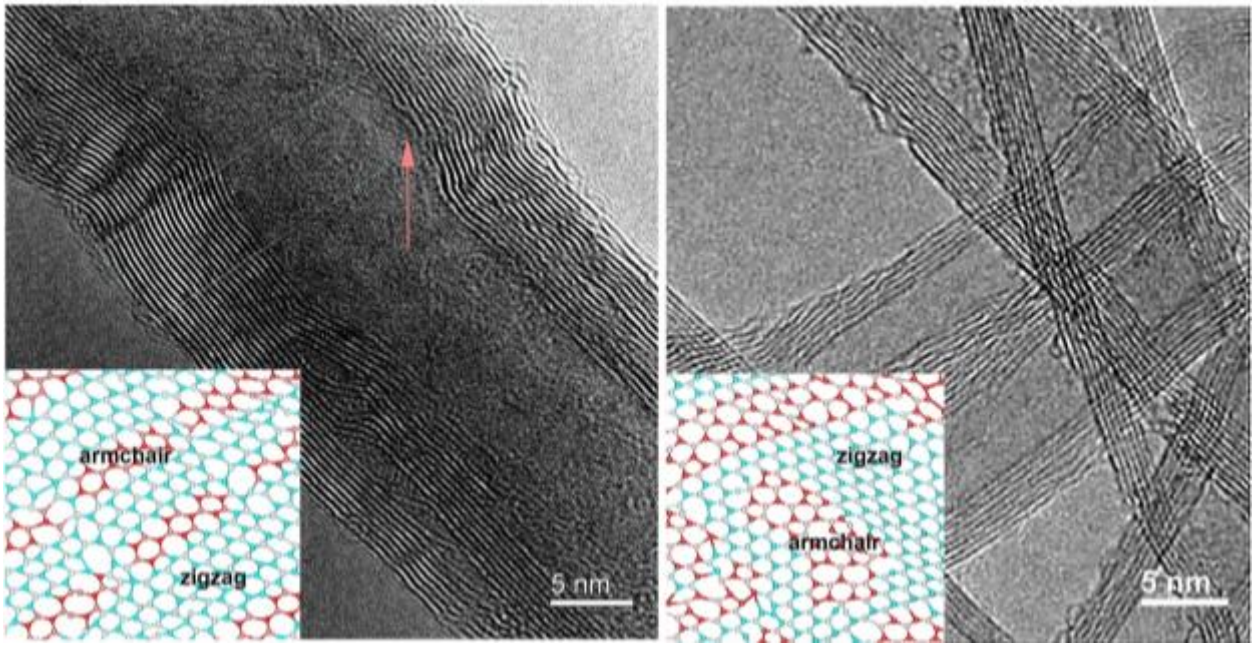
**Проект FWRW-2022-0002**

# ОСНОВОПОЛАГАЮЩАЯ РОЛЬ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ В МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

**Н.Г. Бобенко** (nlitvin86@mail.ru), **В.Е. Егорушкин** (val110@mail.ru), **А.Н. Пономарев** (alex@ispms.ru)

Публикация: Bobenko N.G., Egorushkin V.E., Ponomarev A.N. Decisive role of microstrains in the formation of the domain structure in multiwall carbon nanotubes // Nanoscience and Technology: An International Journal. – 2024. – Vol. 15. – No. 1. – P. 1–9. – DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2023047253 , импакт-фактор журнала 1.7

Беспорядок и изменения кристаллической структуры многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) влияют на стабильность их тепловых свойств и, следовательно, на надежность устройств на их основе. МУНТ имеют один или несколько типов доменных границ (зигзаг, кресло), их размер и ориентация являются наиболее важными характеристиками структурного беспорядка нанотрубок. Велика роль одноосных микродеформаций в формировании доменной структуры в углеродных нанотрубках. Количество значимых независимых микродеформаций определяет количество типов доменов в структуре МУНТ. Трубки, испытывающие только $\varepsilon_{zz}$-деформацию, имеют однодоменную структуру. МУНТ с деформациями $\varepsilon_{zz}$ и $\varepsilon_{xx}$ имеют многодоменную структуру. Неравновесные микродеформации на границах раздела при диссипации энергии могут привести к гистерезису тепловых и механических свойств. Выявленная зависимость позволяет управлять тепловыми свойствами нанотрубок и может быть полезна при разработке термоэлектрических, термоинтерфейсных материалов и наножидкостей на их основе.



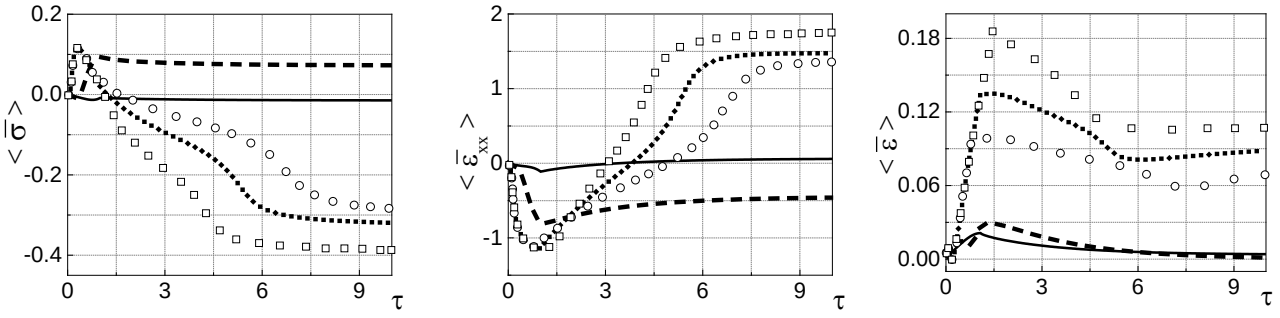
**Проект FWRW-2022-0003**

## НАПРЯЖЕНИЯ В РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЕ ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПОЗИТОВ

**Н.В. Букрина** (bnv@ispms.ru), **А.Г. Князева** (anna-knyazeva@mail.ru)

Публикация: Bukrina N.V., Knyazeva A.G. Stresses in the reaction zone during composite synthesis // Russian Physics Journal. – 2023. – Vol. 66, No. 3. – P. 298–306. – DOI: 10.1007/s11182-023-02939-8. Импакт-фактор журнала 0.6

Выполнен анализ напряжений и деформаций в реакционной зоне, сопровождающих образование композита в режиме синтеза горением. Предполагается, что комплекс протекающих при этом химических реакций можно разделить на 2 суммарные стадии, а сопутствующие синтезу напряжения на термические и концентрационные. Использована связанная модель, которая включает эффективные параметры реакций и эффективную теплоемкость, зависящие от соотношения тепловых и механических масштабов. Показано, что для образца конечных размеров в модели оказываются существенными интегральные слагаемые в уравнении теплопроводности, соответствующие условиям механического равновесия. Динамика напряжений и деформаций изменяется на разных стадиях процесса синтеза.




а б в

Зависимость средних по длине образца значений напряжений $\langle\bar{\sigma}\rangle = \langle\bar{\sigma}_{yy}\rangle = \langle\bar{\sigma}_{zz}\rangle$ и деформаций $\langle\bar{\varepsilon}_{xx}\rangle$, $\langle\bar{\varepsilon}\rangle = \langle\bar{\varepsilon}_{yy}\rangle = \langle\bar{\varepsilon}_{zz}\rangle$ от времени. Сплошная кривая соответствует расчету $Q_e = 1.1$, $\tau_* = 1.1$; пунктирная – $Q_e = 2$, $\tau_* = 1.1$; точками – $Q_e = 5$, $\tau_* = 1.1$; символ круг – $Q_e = 5$, $\tau_* = 0.8$; символ квадрат – $Q_e = 5$, $\tau_* = 1.5$, где $Q_e$ – интенсивность воздействия внешнего источника, $\tau_*$ – время действия.

**Проект FWRW-2022-0003**

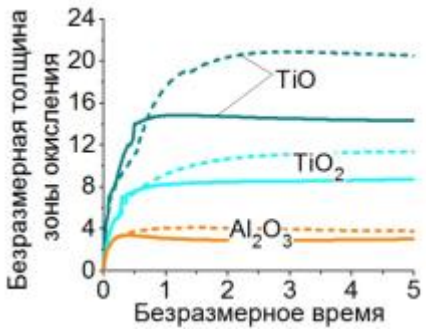
## КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ РАЗНОГО СОСТАВА

**М.В. Чепак-Гизбрехт** (mv2016@mail.ru), **А.Г. Князева** (anna-knyazeva@mail.ru)

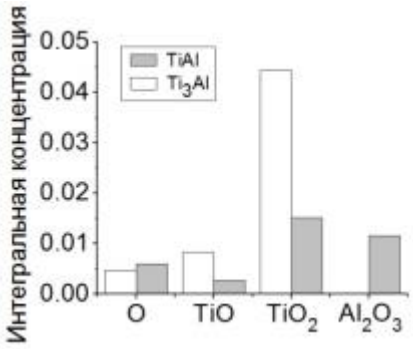
Публикации:
1. Chepak-Gizbrekht M.V., Knyazeva A.G. Oxidation of TiAl alloy by oxygen grain boundary diffusion // Intermetallics. – 2023. – Vol. 162, Article number 107993, 13 p. – DOI 10.1016/j.intermet.2023.107993. Импакт-фактор журнала 4.4
2. Chepak-Gizbrekht M.V. Effect of temperature dynamics on TiAl oxidation due to grain-boundary diffusion of oxygen // Russian Physics Journal. – 2023. – Vol. 66, No. 1. – P. 88–94. – DOI: 10.1007/s11182-023-02908-1. Импакт-фактор журнала 0.6

Проведено исследование диффузионно-кинетических закономерностей и дана оценка величинам зоны окисления в интерметаллидах TiAl и $Ti_3Al$. Для этой цели модифицирована двумерная диффузионно-кинетическая модель [Известия вузов. Физика. – 2022. – Т. 65. № 7 (776). – С. 62–68] для сплава, содержащего зерна разного состава. В разных фазах зерен и границ могут различаться коэффициенты диффузии и параметры реакций. Решение задачи получено численно.

Сравнение динамики процесса окисления TiAl и $Ti_3Al$ в изотермических условиях для одинаковых значений скоростей реакций окисления показало близкий состава оксидного слоя: $TiO–TiO_2–Al_2O_3$ на поверхности, далее $TiO–TiO_2$, за ним следует TiO и соответствующий интерметаллид. Однако в случае окисления TiAl толщина окисленного слоя в 1.4 раза больше, чем при окислении $Ti_3Al$. При окислении $Ti_3Al$ концентрации оксидов титана выше и размер области, занятой ими вдоль оси $\xi$ меньше, чем при окислении TiAl. При окислении $Ti_3Al$ количество образующегося оксида алюминия на порядок меньше, чем при окислении TiAl, что косвенно согласуется с литературными данными.




Зависимость безразмерной толщины зоны окисления от времени для разных материалов: сплошные линии – $Ti_3Al$, пунктирные линии – TiAl




Гистограмма массовой интегральной концентрации в момент времени $\tau = 5$ для разных материалов: белый цвет – $Ti_3Al$, серый цвет – TiAl

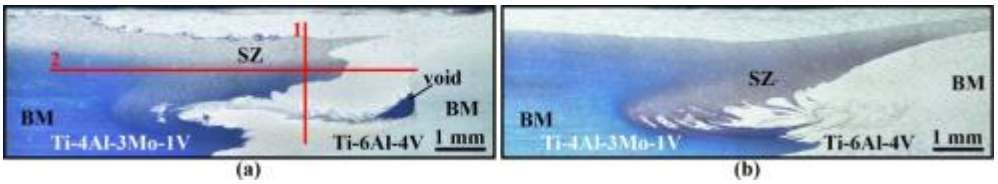
**Проект FWRW-2022-0004**

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ РАЗНОРОДНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ВТ6 И ВТ14 МЕТОДОМ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

**А.В. Чумаевский** (tch7av@ispms.ru), **А.И. Амиров** (amirov@ispms.ru), **Н.Л. Савченко** (savnick@ispms.ru), **Д.А. Гурьянов** (desa-93@mail.ru), **А.В. Николаева** (philip371g@gmail.com), **А.В. Красновейкин** (volodia74ms@yandex.ru), **А.Н. Иванов** (ivan@ispms.ru), **В.Е. Рубцов** (rvy@ispms.ru), **Е.А. Колубаев** (eak@ispms.ru)

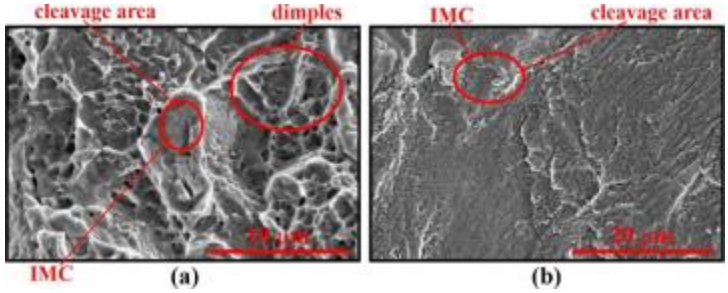
Публикация: A. Amirov, A. Chumaevskii, N. Savchenko, D. Gurianov, A. Nikolaeva, V. Krasnoveykin, A. Ivanov, V. Rubtsov, E. Kolubaev. Features of Permanent Joints of Titanium (α+β)-Alloys Obtained by Friction Stir Welding Using a Nickel Superalloy Tool // Metals. – 2023. – V. 13. – 222. DOI: 10.3390/met13020222. Импакт–фактор журнала 3.006

Исследованы особенности получения неразъемных соединений сплавов ВТ6 (Ti-6Al-4V) и ВТ14 (Ti-4Al-3Mo-1V) методом сварки трением с перемешиванием и закономерности формирования их структуры и свойств. Выявлено, что полученные соединения по своим механическим свойствам превосходят свойства основного металла и разрыв при испытаниях на растяжение бездефектных образцов происходит за пределами сварного шва. При сварке возможно образование дефектов с наступающей стороны в виде пустот или каналов, но за счет оптимизации параметров возможно получение изделий без дефектов.




Структура соединений сплавов ВТ6 и ВТ14, полученных методом СТП

В процессе сварки интенсивное взаимодействие материала и инструмента приводит к образованию на поверхности инструмента интерметаллидных фаз, замешивающихся в материал соединения. При статическом растяжении такое положение не приводит к снижению свойств сварного шва. Но, при усталостных испытаниях с частотой 30 Гц и напряжениях от 30 до 60% от предела прочности соединения присутствующие в структуре интерметаллидные частицы проявляют себя как концентраторы напряжений и приводят к разрушению образцов в области сварного шва с характерным строением изломов. Такое положение приводит к снижению количества циклов до разрушения соединений и требует проведения дополнительных работ для поиска альтернативных материалов для изготовления инструментов.




Интерметаллидные частицы на поверхности разрушения образцов соединения ВТ6-ВТ14 после усталостных испытаний

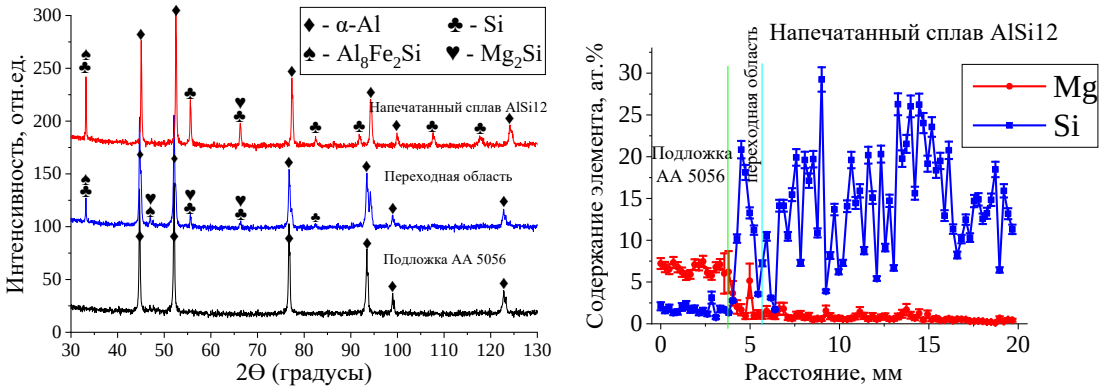
**Проект FWRW-2022-0004**

# ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАГНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СПЛАВА АК12 И АМГ5, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНОЙ АДДИТИВНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

**В.Р. Утяганова** (filaret_2012@mail.ru), **А.В. Воронцов** (vav@ispms.ru), **Д.А. Гурьянов** (desa-93@mail.ru), **Н.Н. Шамарин** (shamarin.nik@gmail.com), **А.В. Чумаевский** (tch7av@ispms.ru), **К.В. Рубцов** (rkv@ispms.ru), **Н.Л. Савченко** (savnick@ispms.ru), **С.Ю. Тарасов** (tsy@ispms.ru)

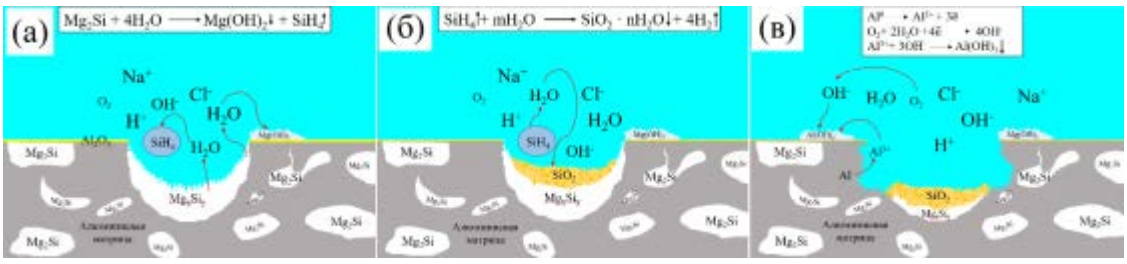
Публикация: V. Utyaganova, A. Vorontsov, D. Gurianov, N. Shamarin, A. Chumaevskii, K. Rubtsov, N. Savchenko, S. Tarasov. Effect of Mg admixing on strength and corrosion of electron beam additive manufactured AlSi12 on the AA5056 substrate // Materials Characterization. – 2023 – V. 204. – 113172. DOI: 10.1016/j.matchar.2023.113172. Импакт–фактор журнала 5.152.

Исследованы особенности закономерности организации структуры, механических свойств и коррозионного поведения образцов биметаллических элементов на основе алюминиево-магниевого сплава АМг5 и алюминиево-кремниевого сплава АК12. Выявлено, что полученные бездефектные образцы характеризуются наличием переходной области с плавно изменяющимся химическим и фазовым составом.




Фазовый (а) и химический (б) состав биметаллических элементов

Механические свойства переходной зоны превышают соответствующие характеристики основного металла, разрушение при испытаниях на растяжение происходит по сплаву АК12. Наименее подверженным коррозии в композите является сплав АК12 в сравнении со сплавом АМг5. Особенности строения переходной зоны приводят к реализации отличного механизма коррозии от сплавов АК12 и АК5. Преимущественно процесс коррозии включает в себя растворение частиц $Mg_2Si$, осаждение $SiO_2$ на частицах $Mg_2Si$, и растворение алюминиевой матрицы.




Процесс растворения $Mg_2Si$ (а), осаждения $SiO_2$ на частицах $Mg_2Si$ (б), и растворение матрицы Al (в) при коррозии переходной зоны биметалла АМг5-АК12

**Проект FWRW-2022-0005**

# МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ NI-CR-AL, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

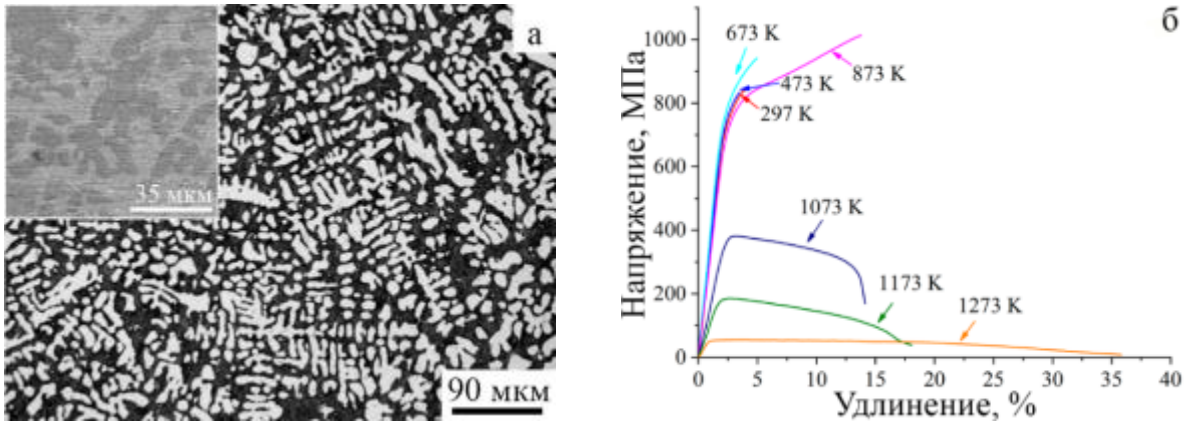
**Е.А. Колубаев** (eak@ispms.ru), **Е.Г. Астафурова** (elena.g.astafurova@ispms.ru), **С.В. Астафуров** (svastafurov@ispms.ru), **К.А. Реунова** (reunova.ksenya@mail.ru), **Е.А. Загибалова** (zagibalova.elena@ispms.ru), **Д.О. Астапов** denis.0612@mail.ru)

Публикации:

1. K.A. Reunova, E.A Zagibalova, D.O. Astapov, S.V. Astafurov, E.A. Kolubaev, E.G. Astafurova. Microstructure, phase composition and microhardness of the gradient material “NiCr/Al” produced by wire-feed electron-beam additive manufacturing // Russian Physics Journal. 66, 341–349 (2023). DOI:10.1007/s11182-023-02945-w, импакт–фактор журнала 0.6

2. E. Astafurova, K. Reunova, E. Zagibalova, D. Astapov, S. Astafurov, E. Kolubaev. Microstructure, phase composition and mechanical properties of intermetallic material Ni-Al-Cr produced by a dual-wire electron-beam additive manufacturing // Metals. 2023. (в печати). импакт–фактор журнала 2.9

С использованием метода двухпроволочного электронно-лучевого аддитивного производства (ЭЛАП) впервые получены объемные заготовки трехкомпонентных сплавов системы Ni-Cr-Al. Показано, что при выборе соотношения подаваемых в ванну расплава промышленных проволок NiCr:Al=3:1, аддитивно изготовленный сплав обладает гомогенной дендритной микроструктурой, состоящей из интерметаллидных фаз на основе $Ni_3Al$ и $Ni_3Cr$. Установлено, что полученный сплав характеризуется аномальной температурной зависимостью предела текучести и высокими прочностными свойствами в интервале температур 300-873 К, что позволяет отнести его к классу жаропрочных материалов. Результаты исследования показывают перспективность полученного методом ЭЛАП многокомпонентного жаропрочного сплава системы Ni-Cr-Al для высокотемпературных приложений.




Микроструктура (а) и диаграммы растяжения при разных температурах (б) для сплава системы Ni-Cr-Al, полученного методом ЭЛАП. Изображение (а) получено методом оптической металлографии, врезка на (а) – методом сканирующей электронной микроскопии