

## **Важнейшие разработки, реализованные или реализуемые в практике в 2023 г.**

1. Методика оценки стойкости различных металлов и композитных покрытий против диффузионного взаимодействия в условиях длительного высокотемпературного контакта.

Разработано устройство и технологические режимы, обеспечивающие образование наростов на поверхности металла, включающем сэндвич-блок, скрепленный из двух металлических пластин и размещенной между ними стальной полосы, размещенный в печи при 800 - 950°C с азотно-водородной атмосферой. В отличие от существующих, в устройстве дополнительно установлен узел задания влажности, соответствующей состоянию окружающей среды. В сравнении с зарубежными аналогами, повышена достоверность результатов испытаний относительно натуральных условий.

Методика реализована для разработки защитных покрытий на печных роликах агрегатов рекристаллизационного отжига холоднокатаных полос кремнистой стали в ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат (дивизион ЭТС)»

2. Модель распределения тепла и напряженно-деформированного состояния в сварных соединениях.

В основу модели положены уравнения нестационарной теплопроводности и механического равновесия, а также анализ структурно-фазовых превращений с использованием термокинетических диаграмм. Модель реализована в разработанном отечественном программном обеспечении (ПО) BAZIS на основе метода конечных элементов для расчетов стыковых и нахлесточных соединений при различных видах сварки (дуговая, лазерная, трением с перемешиванием). Точность расчетов близка к зарубежным аналогам (Simufact и SYSWeld), занимающим более 80 % данного сегмента рынка программного обеспечения России и прекративших здесь лицензионное обслуживание.

Внедряется в ООО «ПЛМ-Урал» при разработке отечественного ПО для аддитивного производства селективным лазерным плавлением.

## **Важнейшие законченные НИР и ОКР, выполненные в 2023 г. и готовые к практическому применению**

1. Разработка автоматической системы индивидуального дозиметрического контроля и высокотехнологичных дозиметров.

Работа А.И. Сюрдо, И.И. Мильман, Р.М. Абашев, Д.Г. Келлерман<sup>1</sup>, В.Ю. Торопов<sup>2</sup> признана результатом, имеющим особую значимость.

Совместно с АО УЭМЗ разработан новый наукоемкий продукт – автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля КОРОС-333. Система успешно прошла госиспытания, на которых было подтверждено ее превосходство по совокупности метрологических и технико-эксплуатационных параметров над зарубежными аналогами, и она внесена в госреестр средств измерений под № 87141-22. Для считывания дозиметрической информации в КОРОС-333 впервые в России использован эффект оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ), что позволяет в 5-10 раз увеличить скорость считывания, снизить в несколько раз энергопотребление и материалоемкость. КОРОС-333 состоит из ОСЛ-считывателя со встроенным промышленным компьютером, комплекта дозиметров, специализированного программного обеспечения и стирающего устройства. В трех типах разработанных ОСЛ-дозиметров для измерения доз облучения всего тела H<sub>p</sub>(10), хрусталика глаза H<sub>p</sub>(3) и

кожных покровов Нр(0.07) использованы новые детекторные материалы на основе  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для дозиметрических приложений, включая нейтронную дозиметрию, изучены литий-магниевые бораты и фторопласты.

## 2. Композитная бронза для антифрикционных применений

Разработана оригинальная композитная бронза и реализована в виде порошковой проволоки, которая состоит из медной оболочки и сердечника, включающего, мас. %: железо (11-14), никель (5-9), алюминий (0,2-0,5), кремний (0,7-1,3); марганец (0,2-0,4). Соотношение компонентов обеспечивает формирование структуры, удовлетворяющей принципу Шарпи с благоприятным соотношением высоколегированных стальных мартенситных дендритов и вязкой матрицы на медной основе. В типовых условиях жидкостного и граничного трения интенсивность изнашивания разработанной антифрикционной бронзы кратно выше в сравнении с типовыми антифрикционными материалами (баббит, оловянистая бронза) при значении коэффициента трения одного уровня с указанными материалами. Разработанная антифрикционная бронза технологична при наплавке: в покрытии отсутствуют трещины, толщина слоя перемешивания с основой менее 10 мкм, что позволяет уже в первом слое получить нужный состав.

Сведения патентной защите разработки

Патент на изобретение № 2788418 МПК В23К 35/24. Потехин Б.А., Коробов Ю.С., Христолюбов А.С., Макаров А.В., Кочугов С.П. Композитная антифрикционная бронза. – Оpubл. 19.01.2023. Бюл. № 2.

Внедряется в ОАО «Уралмашзавод» при изготовлении тяжело нагруженных подшипников скольжения горного оборудования. (Лаборатория лазерной и плазменной обработки).

## 3. Моделирование поведения жидкого металла при кристаллизации в условиях ограниченного объема и большой кривизны поверхности.

Выполнено физико-математическое моделирование положения поверхности жидкого металла, которое определяется как расстояние от некоторой базовой поверхности, соответствующей поверхности цилиндра заданным радиусом. Отклонения поверхности расплава от базовой цилиндрической поверхности определяются в результате решения численного уравнения равновесия давлений на поверхности.

Результаты моделирования использованы для анализа формирования валика наплавленного металла для ряда важных применений, в частности, аддитивного выращивания, одно- и двухдуговой наплавки цилиндров малого диаметра.

Используется в лаборатории лазерной и плазменной обработки.

## 4. Аддитивная технология на базе многопроходной сварки трением с перемешиванием с жидкостным охлаждением заготовок.

Реализована технология послойного нанесения (толщина слоев 5 мм) с помощью многопроходной сварки трением с перемешиванием внахлест хромциркониевой бронзы на рабочую поверхность изношенной плиты МНЛЗ из того же материала для восстановления ее исходной толщины. Использование жидкостного охлаждения свариваемых заготовок в процессе многопроходной сварки позволяет получать высокий уровень твердости восстановленного слоя и практически полностью предотвратить окисление поверхности.

5. Программа ЭВМ: Применение модифицированной модели Блоха-Грюнайзера для анализа температурных зависимостей электросопротивления топологических материалов (лаборатория низких температур)

Программа разработана для анализа температурной зависимости электросопротивления с помощью модифицированной модели Блоха-Грюнайзера. Методика расчета данной программы оптимизирована для топологических материалов.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668865: заявл. 05.09.2023; опубликовано 05.09.2023.

Используется в лаборатории низких температур.

6. Секрет производства (ноу-хау): Оценка длины свободного пробега носителей заряда в топологических полуметаллах в области эффективно сильных магнитных полей (лаборатория низких температур)

Предложена методика оценки длины свободного пробега носителей тока в топологических полуметаллах из температурной зависимости сопротивления в области эффективно сильных магнитных полей.

Получено свидетельство № 30, дата учета и начала действия 24 ноября 2023 г.

Используется в лаборатории низких температур.

7. Разработка принципов легирования и методов термической и термомеханической обработки для получения высокопрочных и пластичных объемных сплавов с эффектом памяти формы на основе никелида титана.

Впервые высокопрочные и пластичные объемные сплавы с эффектами памяти формы и сверхупругости на основе Ti-Ni (в интервале составов Ti<sub>50</sub>Ni<sub>50</sub> – Ti<sub>49</sub>Ni<sub>51</sub>) получены с использованием разработанных способов термической и термомеханической обработки, сочетающих дисперсионное твердение и образование ультрамелкозернистой структуры при термической обработке за счет рекристаллизации после многопроходной пластической деформации прокаткой или волочением. Завершающий эффект упрочнения (предел прочности 1200-1600 МПа) и пластичности (20-80%) обеспечивается благодаря деформационно индуцированному мартенситному превращению при испытаниях механических свойств (или эксплуатации). Максимальные прочность и особенно пластичность достигается в высокочистом сплаве Ti<sub>49.4</sub>Ni<sub>50.6</sub> (с примесями O=0.017, C=0.037 мас.%). Предложен и экспериментально обоснован принцип твердорастворного многокомпонентного легирования по титановой и никелевой подрешеткам B2 (CsCl) кристаллической структуры никелида титана химическими элементами из титановой группы (Zr, Hf, Sc) и никелевой группы (Pd, Pt, Cu, Au) периодической таблицы Менделеева, обеспечивающий создание B2-сплавов с высокотемпературными термоупругими мартенситными превращениями и эффектами памяти формы и сверхупругости.