

## АР26103881 «РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ОТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»

**Цель проекта:** разработка интегрированного технологического процесса, сочетающий технологии газотермического напыления и лазерной обработки для создания высокоэффективных защитных покрытий на основе самофлюсующихся порошков, обеспечивающих устойчивость к высокотемпературной коррозии и износу в условиях отраслей энергетического машиностроения.

**Объем финансирования:** 150 млн. тг.

**Приоритетное направление:** Энергия, передовые материалы и транспорт

**Актуальность исследований:** проект направлен на разработку интегрированного технологического процесса, сочетающего методы газотермического напыления и лазерной обработки для создания высокоэффективных защитных покрытий на основе самофлюсующихся порошков Ni-Cr-B-Si. Эти покрытия обеспечивают высокую устойчивость к высокотемпературной коррозии и механическому износу в условиях энергетического машиностроения, где материалы подвергаются воздействию агрессивных сред, включая продукты сгорания и газы. *Актуальность* данного проекта обусловлена нарастающими вызовами, связанными с высокотемпературной коррозией, которая представляет собой серьезную угрозу для надежности и долговечности энергетических установок. Периодические сбои в энергетических оборудований могут приводить к значительным экономическим потерям и рискам для безопасности, поэтому необходимость разработки инновационных покрытий, способных эффективно противостоять коррозионным процессам при высоких температурах и нагрузках остается актуальной задачей.

**Ожидаемые результаты:**

- будут исследованы теоретические и методологические основы газотермического напыления и определены оптимальный состав самофлюсующихся порошков, обеспечивающих защиту от высокотемпературной коррозии с использованием методов моделирования;

- будет разработан способ получения самофлюсующихся покрытий на основе Ni-Cr-B-Si методом газопламенного напыления и исследовано влияние технологических параметров (температуры, скорости потока газа, давления) на микроструктурные особенности (размеры и формы зерен, дисперсность, структурные дефекты), микротвердость и адгезионные свойства;

- будет разработан способ получения самофлюсующихся покрытий на основе Ni-Cr-B-Si методом детонационного напыления, а также проведена оценка влияния технологических факторов (объема заполнения взрывчатой смеси, молярного соотношения газов, выдержки между выстрелами) на микроструктурные характеристики (размер и форма зерен, дисперсность, структурные дефекты), микротвердость и адгезионные свойства покрытий;

– будет проведен анализ структурно-фазового состояния и базовых поверхностных характеристик покрытий (шероховатости, пористости и износостойкости), полученных методами газопламенного и детонационного напыления;

– будет выполнено моделирование процесса формирования защитных покрытий с акцентом на исследование взаимодействий в области контакта «покрытие - подложка» при комбинированном методе газотермического напыления с последующей лазерной обработкой;

– будут определены оптимальные параметры лазерной обработки (плотность и мощность излучения, скорость сканирования луча), а также режимы газотермического напыления в условиях комбинированного использования. Будет исследовано влияние лазерной обработки на механические свойства и износостойкость покрытий, созданных методом газопламенного и детонационного напыления;

– будут проведены высокотемпературные трибологические испытания и определены механизмы изнашивания покрытий, полученных комбинированным методом газотермического напыления с последующей лазерной обработкой поверхности;

– будут изучены закономерности формирования защитных покрытий на основе самофлюсующихся порошков, с акцентом на выявление взаимосвязей между структурно-фазовым составом и адгезионными свойствами;

– будет выполнено моделирование процессов эксплуатации комбинированных защитных покрытий на реальных деталях с учетом теплофизических свойств для выявления критических параметров и механизмов разрушения поверхности;

– будут проведены испытания на трибокоррозию в различных агрессивных средах (соли и сульфаты), а также будут определены коррозионные свойства самофлюсующихся покрытий после лазерной обработки;

– будут обработаны детали с использованием разработанного комбинированного метода газотермического напыления с последующей лазерной обработкой. Будут исследованы коррозионная стойкость и устойчивость стальных изделий с защитными покрытиями к эрозии при высоких температурах в агрессивных средах на специальных стендах

– По итогам всех проведенных исследований будут сформулированы практические рекомендации для внедрения комбинированных технологий в производственные процессы.

**Отрасли применения разработок:** энергетическая, машиностроительная и нефтегазовая.

**Наименование конкурса в рамках которого реализуется проект:** конкурс на грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2025-2027 годы



**Исследовательская группа:**

Руководитель проекта – Кылышканов М.К

СНС – Сулюбаева Л.Г

ВНС – Буйткенов Д.Б

Профессор – Лешек Латка

СНС – Маулет М

НС – Қамбаров Е.Е

МНС – Бердімуратов Н.Е

МНС – Нәбиолдина А.Б

МНС – Райсов Н.С

Инженер – Әлібекова Б.Ә



**АР26103881 «ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ МАШИНА ЖАСАУДАҒЫ БӨЛШЕКТЕРДІ  
ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ КОРРОЗИЯДАН ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН  
КЕШЕНДІ ШЕШІМ ЖАСАУ МАҚСАТЫНДА ӨЗДІГІНЕН БАЛҚИТЫН  
ҚОРЫТПАЛАР НЕГІЗІНДЕ ҚОРҒАНЫС ЖАБЫНДАРЫН АЛУДЫҢ ТИІМДІ  
ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ӘЗІРЛЕУ»**

**Жобаның мақсаты:** энергетикалық машина жасау салаларында жоғары температуралы коррозия мен тозуға төзімділікті қамтамасыз ететін, өздігінен флюстелетін ұнтақтар негізіндегі жоғары тиімді қорғаныш жабындарын алу үшін газотермиялық бүрку және лазерлік өңдеу технологияларын біріктіретін интеграцияланған технологиялық процесті әзірлеу.

**Қаржыландыру көлемі:** 150 млн. теңге.

**Басым бағыт:** энергия, озық материалдар және көлік

**Зерттеудің өзектілігі:** жоба Ni–Cr–B–Si негізіндегі өздігінен флюстелетін ұнтақтарды пайдалана отырып, жоғары тиімді қорғаныш жабындарын алу үшін газтермиялық бүрку және лазерлік өңдеу әдістерін үйлестіретін интеграцияланған технологиялық процесті әзірлеуге бағытталған. Бұл жабындар энергетикалық машина жасау саласында материалдар жану өнімдері мен газдарды қоса алғанда агрессивті орталардың әсеріне ұшырайтын жағдайларда жоғары температуралы коррозияға және механикалық тозуға жоғары төзімділікті қамтамасыз етеді. Аталған жобаның өзектілігі жоғары температуралы коррозиямен байланысты күшейіп келе жатқан сын-қатерлермен айқындалады, себебі ол энергетикалық қондырғылардың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігіне елеулі қауіп төндіреді. Энергетикалық жабдықтардың мерзімді істен шығуы елеулі экономикалық шығындарға және қауіпсіздік тәуекелдеріне әкелуі мүмкін, сондықтан жоғары температуралар мен жүктемелер жағдайында коррозиялық процестерге тиімді қарсы тұра алатын инновациялық жабындарды әзірлеу қажеттілігі өзекті міндет болып қала береді.

**Жобадан күтілетін нәтижелер:**

- газотермиялық бүрку технологиясының теориялық және әдіснамалық негіздері зерттеліп, модельдеу әдістерін қолдану арқылы жоғары температуралы коррозиядан қорғанысты қамтамасыз ететін өздігінен флюстелетін ұнтақтардың оңтайлы құрамы анықталады;

- газжалынды бүрку әдісімен Ni–Cr–B–Si негізіндегі өздігінен флюстелетін жабындарды алу тәсілі әзірленіп, технологиялық параметрлердің (температура, газ ағынының жылдамдығы, қысым) микроқұрылымдық ерекшеліктерге (дәндердің өлшемі мен пішіні, дисперстілігі, құрылымдық ақаулар), микроқаттылық пен адгезиялық қасиеттерге әсері зерттеледі;

- детонациялық бүрку әдісімен Ni–Cr–B–Si негізіндегі өздігінен флюстелетін жабындарды алу тәсілі әзірленіп, технологиялық факторлардың (жарылғыш қоспаның толтырылу көлемі, газдардың молярлық арақатынасы, атыстар арасындағы кідіріс) жабындардың микроқұрылымдық сипаттамаларына (дәндердің өлшемі мен пішіні,

дисперстілігі, құрылымдық ақаулар), микроқаттылық пен адгезиялық қасиеттерге әсері бағаланады;

- газжалынды және детонациялық бүрку әдістерімен алынған жабындардың құрылымдық-фазалық күйі мен негізгі беттік сипаттамаларына (кедір-бұдырлық, кеуектілік және тозуға төзімділік) талдау жүргізіледі;

- кейінгі лазерлік өңдеумен үйлестірілген газотермиялық бүрку әдісі кезінде «жабын – негіз» түйісу аймағындағы өзара әрекеттесулерді зерттеуге басымдық бере отырып, қорғаныш жабындарының қалыптасу процесі модельденеді;

- лазерлік өңдеудің оңтайлы параметрлері (сәулелену тығыздығы мен қуаты, сәулені сканерлеу жылдамдығы), сондай-ақ газотермиялық бүрку режимдері біріктірілген қолдану жағдайында анықталады. Газжалынды және детонациялық бүрку әдістерімен алынған жабындардың механикалық қасиеттері мен тозуға төзімділігіне лазерлік өңдеудің әсері зерттеледі;

- кейінгі лазерлік өңдеумен біріктірілген газотермиялық бүрку әдісімен алынған жабындарға жоғары температуралы трибологиялық сынақтар жүргізіліп, тозу механизмдері анықталады;

- өздігінен флюстелетін ұнтақтар негізіндегі қорғаныш жабындарының қалыптасу заңдылықтары зерттеліп, құрылымдық-фазалық құрам мен адгезиялық қасиеттер арасындағы өзара байланыстар айқындалады;

- жылуфизикалық қасиеттерді ескере отырып, нақты бөлшектердегі біріктірілген қорғаныш жабындарын пайдалану процестері модельденіп, беттің бұзылу механизмдері мен сыни параметрлері анықталады;

- әртүрлі агрессивті орталарда (тұздар мен сульфаттар) трибокоррозиялық сынақтар жүргізіліп, лазерлік өңдеуден кейінгі өздігінен флюстелетін жабындардың коррозиялық қасиеттері анықталады;

- әзірленген газотермиялық бүрку мен кейінгі лазерлік өңдеуді біріктіретін әдіс арқылы бөлшектер өңделеді. Арнайы стендтерде агрессивті орталарда жоғары температура жағдайында қорғаныш жабындары бар болат бұйымдардың коррозияға төзімділігі мен эрозияға қарсы тұрақтылығы зерттеледі;

- жүргізілген барлық зерттеулердің қорытындысы бойынша біріктірілген технологияларды өндірістік процестерге енгізу үшін практикалық ұсынымдар әзірленеді.

**Әзірлемелерді қолдану салалары:** энергетика, машина жасау және мұнай-газ саласы.

**Жоба іске асырылатын конкурстың атауы:** 2025–2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобаларды гранттық қаржыландыру конкурсы.



### **Зерттеу тобы:**

Тақырып жетекшісі, жетекші ғылыми қызметкер – Кылышканов М.К.;

Жетекші ғылыми қызметкер – Сулюбаева Л.Г.;

Жетекші ғылыми қызметкер – Буйткенов Д.Б.;

Аға ғылыми қызметкер – Лешек Латка.;

Аға ғылыми қызметкер – Маулет М.,;

Кіші ғылыми қызметкер – Қамбаров Е.Е.;

Кіші ғылыми қызметкер – Бердімуратов Н.Е.;

Кіші ғылыми қызметкер – Нәбиолдина А.Б.;

Кіші ғылыми қызметкер – Райсов Н.С.;

Инженер – Әлібекова Б.Ә.

**AP26103881 «DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR OBTAINING PROTECTIVE COATINGS BASED ON SELF-FLUXING ALLOYS IN ORDER TO CREATE A COMPREHENSIVE SOLUTION AGAINST HIGH-TEMPERATURE CORROSION OF PARTS OF POWER ENGINEERING»**

**The purpose of the project:** Development of an integrated technological process combining gas-thermal spraying and laser processing technologies to create high-performance protective coatings based on self-fluxing powders, providing resistance to high-temperature corrosion and wear in the conditions of power engineering industries.

**Amount of funding:** 150 million tenge

**Priority area:** Energy, advanced materials and transport

**Relevance of research:** The project is aimed at developing an integrated technological process combining thermal spraying and laser processing methods to create highly effective protective coatings based on self-fluxing Ni-Cr-B-Si powders. These coatings provide high resistance to high-temperature corrosion and mechanical wear in power engineering, where materials are exposed to aggressive environments, including combustion products and gases. The *relevance* of this project is due to the growing challenges associated with high-temperature corrosion, which poses a serious threat to the reliability and durability of power plants. Periodic failures in power equipment can lead to significant economic losses and safety risks, so the need to develop innovative coatings that can effectively resist corrosion processes at high temperatures and loads remains an urgent task.

**Expected results:**

- the theoretical and methodological foundations of thermal spraying and determination of the optimal composition of self-fluxing powders providing protection against high-temperature corrosion using modeling methods will be studied;
- a method for producing self-fluxing coatings based on Ni-Cr-B-Si using flame spraying will be developed and the influence of process parameters (temperature, gas flow rate, pressure) on microstructural features (grain sizes and shapes, dispersion, structure defects), microhardness and adhesive properties will be studied;
- a method for producing self-fluxing coatings based on Ni-Cr-B-Si using the detonation spraying method will be developed, and an assessment will be made of the influence of technological factors (filling volume of the explosive mixture, molar ratio of gases, holding time between shots) on the microstructural characteristics (size and shape of grains, dispersion, structural defects), microhardness and adhesive properties of the coatings;
- an analysis will be made of the structural-phase state and basic surface characteristics of the coatings (roughness, porosity and wear resistance) obtained using the flame and detonation spraying methods;
- a modeling of the process of forming protective coatings will be performed with an emphasis on studying the interactions in the area of contact "coating - substrate" using the combined method of thermal spraying followed by laser processing;
- the optimal parameters of laser processing (radiation density and power, beam scanning speed), as well as the modes of gas-thermal spraying under conditions of combined use will be determined. The effect of laser processing on the mechanical properties and wear resistance of coatings created by the flame and detonation spraying method will be studied;

- high-temperature tribological tests will be carried out and wear mechanisms of coatings obtained by the combined method of gas-thermal spraying with subsequent laser surface treatment will be determined;
- the patterns of formation of protective coatings based on self-fluxing powders will be studied, with an emphasis on identifying the relationships between the structural-phase composition and adhesive properties;
- the operation processes of combined protective coatings on real parts will be simulated taking into account the thermophysical properties to identify critical parameters and mechanisms of surface destruction;
- tribocorrosion tests will be conducted in various aggressive environments (salts and sulfates), and the corrosion properties of self-fluxing coatings after laser treatment will be determined;
- parts will be processed using the developed combined method of gas-thermal spraying followed by laser treatment. The corrosion resistance and erosion resistance of steel products with protective coatings at high temperatures in aggressive environments will be studied on special stands.
- based on the results of all the studies, practical recommendations will be formulated for the implementation of combined technologies in production processes.

**Fields of application of developments:** energy, mechanical engineering, and the oil and gas industry.

**The name of the competition within which the project is being implemented:** Competition for grant funding of scientific and (or) scientific and technological projects for 2025–2027



**The Research Group:**

Project Leader, Leading Researcher – Kylyshkanov M.K.;  
 Leading Researcher – Sulyubayeva L.G.;  
 Leading Researcher – Buitkenov D.B.;  
 Senior Researcher – Leszek Latka;  
 Senior Researcher – Maulet M.;  
 Junior Researcher – Kambarov E.E.;  
 Junior Researcher – Berdimuratov N.E.;  
 Junior Researcher – Nabioldina A.B.;  
 Junior Researcher – Raisov N.S.;  
 Engineer – Alibekova B.A.