

Инновационные исследования «МГТУ «СТАНКИН» для нужд машиностроения под руководством ученых мирового уровня в рамках Постановления Правительства № 220

Приводятся сведения о достижениях и прорывных научных результатах полученных в инновационных лабораториях, функционирующих в МГТУ «СТАНКИН» — лаборатории инновационных аддитивных технологий и лаборатории искрового плазменного спекания. Описаны примеры технологий аддитивного производства сложнопрофильных деталей для нужд машиностроения методом селективного лазерного плавления порошков различных металлов и сплавов. Приведены технологические особенности искровых плазменных технологий спекания порошковых материалов и их возможности для получения нового класса нанокompозитных материалов, содержащих наноразмерные фазы с геометрическими размерами менее 100 нм.

Ключевые слова: инновационные исследования, ведущие лаборатории, нанокompозиты, аддитивные технологии, постановление № 220.

В настоящее время одним из организационных механизмов развития науки и техники, доказавших свою эффективность в технологически развитых странах, является усиление поддержки научных исследований, проводимых в ведущих научно-образовательных центрах. Во многом именно университеты являются ядром интегрированного научно-образовательного комплекса, который обеспечивает выполнение значительной доли фундаментальных и прикладных исследований. В Российской Федерации реализуется целый комплекс мер, направленных на поддержку и постепенную концентрацию научных исследований в вузах посредством усиления кадровой составляющей вузовской науки, обновления материально-технической и приборной базы, участия вузов в технологических платформах и в качестве учредителей малых инновационных предприятий и др. При этом важнейшим аспектом является обеспечение соответствия уровня фундаментальных и поисковых работ российских ученых уровню исследований стран с лидирующей экономикой, высокой степени международного сотрудничества, обеспечивающего понимание российским научным сообществом перспектив развития ключевых для мировой науки направлений [1].

В апреле 2010 года Правительством Российской Федерации было принято Постановление № 220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего



С. Н. Григорьев,
д. т. н., профессор, ректор, зав. кафедрой
высокоэффективных технологий обработки,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»
rector@stankin.ru

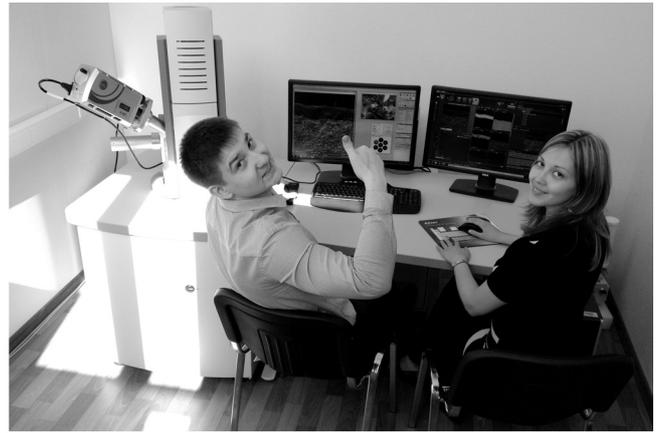
профессионального образования», положившее начало созданию при российских вузах научно-исследовательских лабораторий мирового уровня под руководством российских и иностранных ведущих ученых, занимающих лидирующие позиции в различных областях наук, представляющих интерес для развития отечественной экономики - атомная энергетика и ядерные технологии, биотехнологии, информационные технологии и вычислительные системы, космические исследования и технологии, математика, машиноведение, медицинские науки и технологии, механика и процессы управления, нанотехнологии, науки о земле, науки о материалах, энергетика, энергоэффективность и многие другие. Большинство экспертов сходятся во мнении, что именно «конкурс Мегагрантов», организованный и финансируемый Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках Постановления Правительства РФ № 220, является наиболее ярким образцом успешного механизма развития науки и техники.

С момента старта «конкурса Мегагрантов» МГТУ «СТАНКИН» дважды становился победителем этих престижнейших конкурсов, в результате которых сегодня в университете функционируют две уникальные лаборатории мирового уровня, осуществляющие исследования для нужд машиностроения.

Первая лаборатория инновационных аддитивных технологий (ЛИАТ) была создана в 2011 году в рамках Договора с Минобрнауки России №11.G34.31.0077, а



а



б

Рис. 1. Лаборатория инновационных аддитивных технологий, созданная и успешно функционирующая в МГТУ «СТАНКИН» в рамках Постановления Правительства № 220

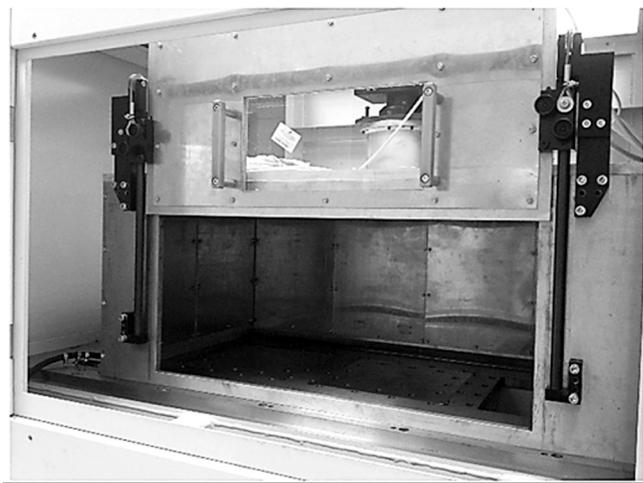
возглавил ее приглашенный ученый - наш соотечественник Игорь Смуров, в настоящее время проживающий во Франции и являющийся ведущим профессором Национальной инженерной школы Сент-Этьенна (ENISE).

В рамках данной лаборатории МГТУ «СТАНКИН» одним из первых в России начал разработку технологических основ и оборудования для послойного производства сложнопрофильных изделий методом селективного лазерного плавления порошковых материалов и их внедрение в отечественную промышленность (рис.1). Научным коллективом лаборатории с участием ведущих ученых, представляющих различные кафедры университета, был разработан и запатентован комплекс инновационных технологий аддитивного производства, в том числе с использованием отечественных порошковых материалов, а также созданы новые технологии и отечественное оборудование для всей цепочки аддитивного производства многофункциональных и сложнопрофильных деталей машиностроения [2, 3].

Технология селективного лазерного плавления позволяет послойно выращивать функциональные

изделия из металлических порошков с помощью выборочного его плавления в слое. В начале технологического процесса изготовления детали создается электронная трехмерная модель изделия при помощи САПР. Специальное программное обеспечение «разбивает» данную модель на множество слоев (сечений) и формирует управляющую программу для технологической установки послойного спекания. Далее технолог вводит значение основных параметров селективного лазерного плавления (мощность лазерного излучения, толщину порошкового слоя, скорость сканирования лазерного луча, расстояние между проходами лазерного луча (шаг в рабочей плоскости изготовления), стратегию сканирования, подогрев зоны обработки, тип защитной атмосферы и др.), после чего начинается процесс изготовления детали [4, 5].

Главными задачами работ, проводимых в МГТУ «СТАНКИН» в 2011-2015 гг., являлись разработка и комплексные исследования методов селективного лазерного плавления деталей из одного или двух различных порошковых материалов и холодного газодинамического напыления деталей из одного, двух и более материалов. Для выполнения указанных задач

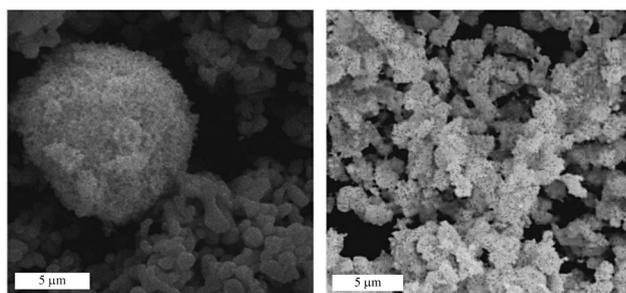


а



б

Рис. 2. Опытно-промышленный образец технологического комплекса селективного лазерного плавления (совместная разработка МГТУ «СТАНКИН» и ОАО «НИАТ»): рабочая зона (а) и общий вид (б) оборудования



а б

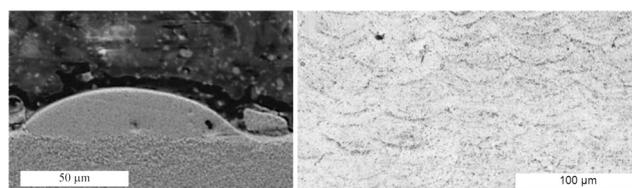
Рис. 3. Порошковая смесь порошка кобальта с нанопорошком карбида вольфрама: а) исходные порошки (частица-агломерат наночастиц WC, окруженная частицами Co); б) порошки после смешивания (частицы Co, равномерно покрытые наночастицами WC)

коллективу лаборатории ставилась задача повышения качества и воспроизводимости сложнопрофильных изделий, получаемых технологиями аддитивного производства, проработки возможности применения новых перспективных материалов на основе интерметаллидов и керамики, расширение научных и промышленных контактов с отечественными машиностроительными предприятиями для внедрения результатов исследований в промышленное производство.

Для возможности реализации широкого спектра технологий аддитивного производства сложнопрофильных деталей и решения задачи импортозамещения в МГТУ «СТАНКИН» был разработан отечественный образец автоматизированного технологического комплекса селективного лазерного плавления (рис. 2).

Для реализации полного цикла изготовления изделий методами аддитивного производства в ЛИАТ МГТУ «СТАНКИН» были созданы системы автоматического контроля качества процесса формообразования деталей для установок селективного лазерного плавления и построения 3D модели готового изделия для последующих этапов жизненного цикла детали.

Сегодня в ЛИАТ МГТУ «СТАНКИН» исследования в области селективного лазерного плавления вышли на принципиально новый уровень – проводятся масштабные экспериментальные с порошками кобальта (фракция 1...2 мкм) и нанопорошком карбида вольфрама (фракция 50...80 нм). Используется инновационная технология приготовления порошковых смесей, в результате чего полученный порошок отлича-



а б

Рис. 4. Поперечное сечение экспериментальных образцов композиционного материала 75%Co-25%WC, полученных селективным лазерным плавлением: единственный валик (а) и макроструктура образца (б)

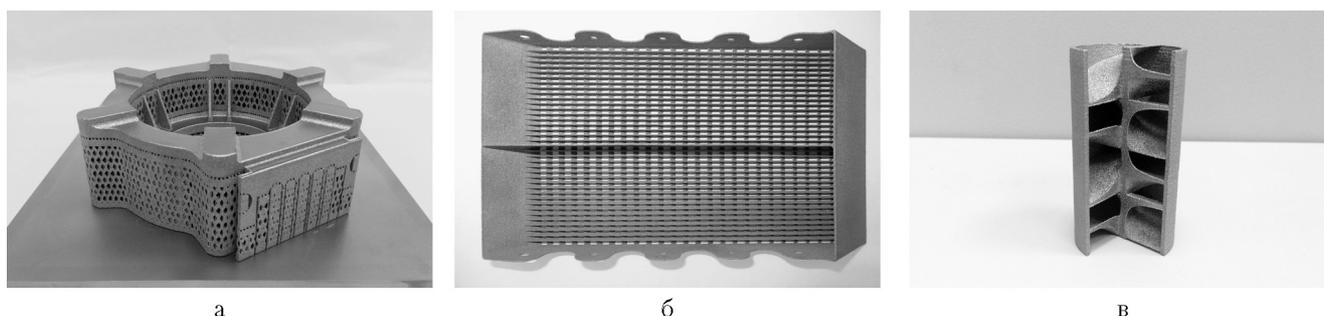
ется равномерным распределением нанометрических частиц карбида вольфрама на поверхности частиц кобальта (рис. 3). Полученные в МГТУ «СТАНКИН» результаты показывают возможность изготовления композиционных материалов с пористостью 1...2% и отсутствием трещин методом селективного лазерного плавления при содержании твердой фазы карбида вольфрама 25% (рис. 4).

В настоящее время на основе комплекса разработанных технологий и оборудования МГТУ «СТАНКИН» по заказу отечественных машиностроительных предприятий из высоколегированных сталей и сплавов изготавливаются сложнопрофильные детали широкой номенклатуры типа «Сопло», «Завихритель», «Турбина», «Радиатор», «Гаситель», «Патрубок» и другие (рис. 5).

Всего лишь за пять лет коллективу ЛИАТ МГТУ «СТАНКИН» под руководством приглашенного ученого удалось получить прорывные результаты, которые были отмечены на правительственном уровне.

За разработку под руководством приглашенного ученого из Франции отечественных аддитивных технологий изготовления и контроля ответственных деталей машиностроения они были удостоены Премии Правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых 2015 года. В состав коллектива молодых ученых вошли специалисты МГТУ «СТАНКИН» – к. т. н., доцент С. Г. Конов и заместитель начальника лаборатории Д. В. Котобан, а также молодые ученые из организаций партнеров, активно сотрудничающих с лабораторией ЛИАТ – к. т. н. А. П. Назаров (начальник отдела ОАО «Национальный институт авиационных технологий») и к. т. н. С. К. Сундуков (ассистент ФГБОУ ВПО «МАДИ»).

Коллективом ученых были созданы научно-технологические основы отечественных аддитивных



а б в

Рис. 5. Примеры сложнопрофильных изделий, изготовленных для нужд машиностроительных предприятий, методом селективного лазерного плавления порошковых материалов по технологиям, разработанным в МГТУ «СТАНКИН»



Рис. 6. Коллектив молодых ученых – лауреатов Премии Правительства РФ в области науки и техники для молодых ученых 2015 года за разработку инновационных аддитивных технологий

технологий и разработано оборудование для промышленного производства методом селективного лазерного плавления порошковых материалов и финишных операций сложнопрофильных деталей машиностроения с повышенными функциональными свойствами из порошков различных металлов и сплавов, в том числе отечественного производства, а также разработана технологическая концепция построения аддитивного производства (рис. 6).

Еще одна инновационная лаборатория, созданная в 2013 году в МГТУ «СТАНКИН» по Постановлению Правительства №220 в рамках Договора с Минобрнауки России №14.В25.31.0012 – лаборатория искрового плазменного спекания (ЛИПС), которую возглавил приглашенный ученый из Испании - Торресильяс Рамон Сан Миллан, являющийся основателем Центра исследований наноматериалов и нанотехнологий (CINN) Испанского национального исследовательского совета и профессором университета г. Овьедо.

Созданная лаборатория имеет 2 участка – искрового плазменного спекания, оснащенного установкой искрового плазменного спекания КСЕ-FCТ и подготовки инновационных порошковых смесей и композиций (рис. 7).

Искровое плазменное спекание (SPS – spark plasma sintering) является чрезвычайно перспективным процессом для применения в самых различных областях машиностроения, т. к. позволяет получать детали практически со 100% плотностью из любых даже разнородных материалов - металлов и сплавов, карбидной, нитридной и оксидной керамики. Сам процесс представляет собой спекание исходного порошкообразного материала под действием механического усилия (10-100 тонн) и импульсов тока (до 60000А). Исходный материал размещается в матрице из графита, помещаемой под пресс в вакуумной камере. Электроды, интегрированные в механическую часть пресса, подводят электрический ток к матрице и создают искровые разряды между спекаемыми частицами материала, обеспечивая интенсивное взаимодействие [6, 7].

Нанокристаллические матричные композиты, которые разрабатываются МГТУ «СТАНКИН» в рамках инновационной лаборатории ЛИПС – это новый класс машиностроительных материалов, в состав которых входят исключительно нанометрические слои – толщиной менее 100 нм. Создаваемые материалы обладают улучшенными механическими, магнитными, температурными, оптическими и каталитическими свойствами, что позволяет использовать их в конструкциях широкого спектра машиностроительного оборудования, инструментов и изделий. Тем не менее, следует отметить, что успешность коммерческого использования данных материалов напрямую зависит от возможности их применения в крупногабаритных машиностроительных деталях (без ухудшения их наноструктуры).

Наличие данного явления вызывает необходимость изучения и разработки технологий нанесения нанопорошков. На сегодняшний день существует всего несколько методик, позволяющих сохранять их наноструктуру (рис. 8).

Применение в процессе гибридного спекания электрического тока (электрического поля) позволяет уменьшить степень укрупнения зерен, что по-



а



б

Рис. 7. Лаборатория искрового плазменного спекания, созданная в рамках Постановления Правительства №220: технологический участок искрового плазменного спекания (а); участок подготовки порошковых смесей (б)

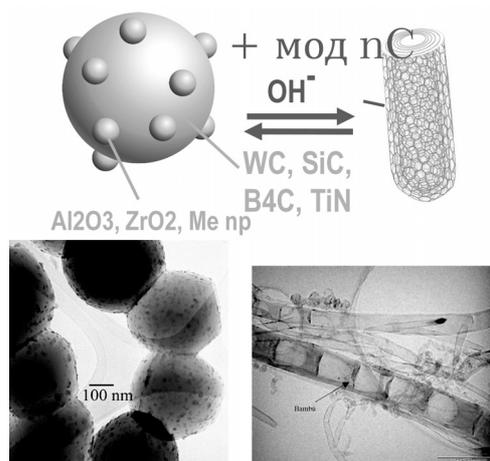


Рис. 8. Механизм сохранения гомогенной наноструктуры в инновационных нанокompозитных материалах

зволяет получить поликристаллические материалы с уменьшенным размером микроструктур. Помимо этого, применение электрического тока в процессе высокотемпературного деформирования поликристаллических и металлических материалов позволяет уменьшить напряжение пластического течения и способствует увеличению пластических деформаций (рис. 9).

Методом гибридного искрового плазменного спекания возможно получение для самых различных областей науки и техники – медицины, микроэлектроники, машиностроения, приборостроения. Говоря о нуждах машиностроения, особый интерес представляет использование данного метода для изготовления металлообрабатывающего инструмента широкой номенклатуры, прессформ, микроинструмента, инструментальная оснастка, электроды для электроэрозионной обработки и других. На рис. 10 представлена микроструктура спеченного материала, полученного на сканирующем электронном микроскопе, а также пример готового изделия.

В настоящее время ЛИПС МГТУ «СТАНКИН» занимается разработкой инновационных искровых плазменных технологий и оборудования для спекания с целью получения нового класса нанокompозитных материалов, содержащих наноразмерные фазы с геометрическими размерами менее 100 нм. Коллективом лаборатории в рамках данного направления достигнуты уникальные результаты:

- получен функционализированный графен, оксид графена и нановолокна, которые могут быть интегрированы в керамическую матрицу и производственный процесс получения керамических нанокompозитов;
- разработана технология обработки керамических нанокompозитов с помощью гибридного искрового плазменного спекания для получения плотных образцов с повышенным комплексом эксплуатационных свойств.

Кроме получения научных результатов мирового уровня – чрезвычайно важен и значим неотъемлемый эффект, достигаемый в рамках сотрудничества с ведущими мировыми учеными в рамках Постановле-

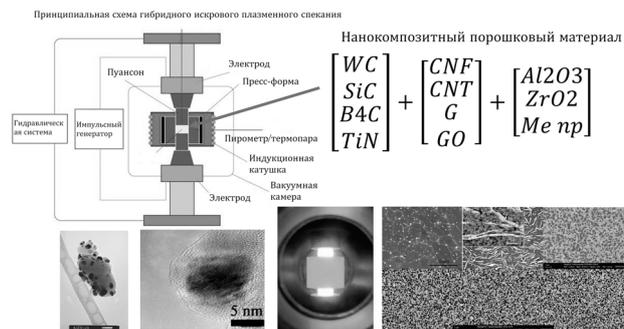


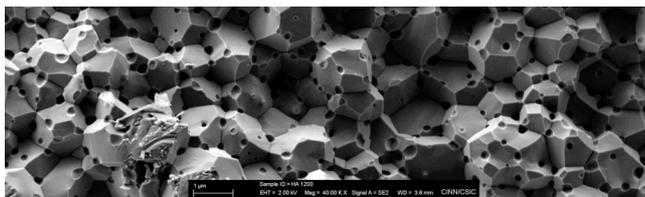
Рис. 9. Получение методом гибридного искрового плазменного спекания инновационных нанокompозитных материалов

ния Правительства РФ №220. Речь идет о развитии кадрового потенциала российских вузов, реализации широкого спектра программ академической мобильности с организациями, которые представляют приглашенные ученые и создание устойчивых связей российских университетов с ведущими мировыми научными школами.

Например, студенты МГТУ «СТАНКИН» ежегодно в рамках стипендий региона Рон-Альп Франции проходят обучение в инженерной школе ENISE по магистерской программе «Механика и инженерия». После окончания обучения, подготовки и защиты магистерского диплома на французском языке, студенты МГТУ «СТАНКИН» получают европейские магистерские дипломы группы университетов Лиона, позволяющие продолжать научно-исследовательскую работу в аспирантуре любого университета стран Евросоюза. Обучение студентов МГТУ «СТАНКИН» в магистратуре ведущих французских вузов также осуществляется в рамках стипендий, предоставляемых Посольством Франции в России. Исследовательские стажировки во Франции для перспективных ученых университета осуществляются в рамках посольской стипендии имени И. М. Мечникова. Кроме того, лучшие студенты и аспиранты МГТУ «СТАНКИН» неоднократно удостоивались стипендии Президента Федерации для обучения во Франции.

Аспиранты и молодые ученые МГТУ «СТАНКИН» регулярно проходят исследовательские стажировки в испанском исследовательском центре CINN и университете г. Овьедо. Ежегодно организуются совместные международные конференции и форумы, которые с успехом проходят в Испании и России.

Таким образом, привлечение ведущих ученых в МГТУ «СТАНКИН» в рамках Постановления Правительства № 220 позволило обеспечить интеграцию университета в европейское научно-образовательное пространство, достичь мирового уровня отечественных научных исследований в области технологий аддитивного производства и искрового плазменного спекания, создать условия для улучшения качественного состава научно-педагогических кадров университета,



а



б

Рис. 10. Микроструктура спеченного материала (а) и образцы коронок для алмазного бурения (б), полученных гибридным искровым плазменным спеканием

развить эффективные взаимовыгодные партнерские отношения с ведущими университетами и научными организациями. В ближайшем будущем будет обеспечено масштабное внедрение в машиностроительное производство перспективных разработок, полученных в рамках проведенных научных исследований.

Список использованных источников

1. Постановление № 301 от 15 апреля 2014 года «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы».
2. Григорьев С. Н., Смуров И. Ю. Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом// Инновации. 2013. № 10 (180). С. 76-82.

3. Смуров И. Ю., Мовчан И. А., Ядройцев И. А., Окунькова А. А., Черкасова Н. Ю., Антоненкова Г. В. Аддитивное производство с помощью лазера. Проведение экспериментальных работ// Вестник МГТУ Станкин. 2012. Т. 1. № 1. С. 36-38.
4. Смуров И. Ю., Конов С. Г., Котобан Д. В., Назаров А. П., Сундуков С. К. Инновационное цифровое производство на базе аддитивных технологий//Инновации. 2015. № 8 (202). С. 36-41.
5. Смуров И. Ю., Жирнов И. В., Дубенская М. А. Оптический мониторинг селективного лазерного плавления: влияние скорости сканирования и мощности лазерного излучения на геометрию ванны расплава на поверхности слоя металлического порошка INOX 316 L//Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 3 (34). С. 52-56.
6. Новиков С. В., Перетягин П. Ю., Должикова Е. Ю., Торресильяс Р. Формирование структуры твердосплавных покрытий из порошков при пропускании мощного импульса электрического тока//Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 10 (724). С. 21-28.
7. Новиков С. В., Перетягин П. Ю., Торресильяс Р. Научные основы электроимпульсной технологии и нанесения твердосплавных покрытий из порошковых материалов на режущий и прессовый инструмент. Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 5 (125). С. 23-29.

**Innovative research of MSTU «STANKIN»
for mechanical engineering led by scientists
worldwide in the context government decision № 220**

S. N. Grigoriev, Doctor of Engineering, Professor, Rector, Head of the department «High-performance processing technologies», MSTU «STANKIN»

The article provides information on the achievements and breakthrough scientific results obtained in the laboratories of innovation, operating in MSTU «STANKIN» - a laboratory of innovative additive technologies and laboratory spark plasma sintering. This article also describes examples of additive manufacturing technology is difficult to specialized parts for the needs of engineering method of selective laser melting powders of different metals and alloys. This material shows the technological features of spark plasma sintering technology of powder materials and their ability to produce a new class of nanocomposite materials comprising a nanoscale geometric phase sizes less than 100 nm.

Keywords: innovative research, leading laboratories, nanocomposites, additive technology, the resolution № 220.