



Евстигнеев
Владимир
Васильевич,

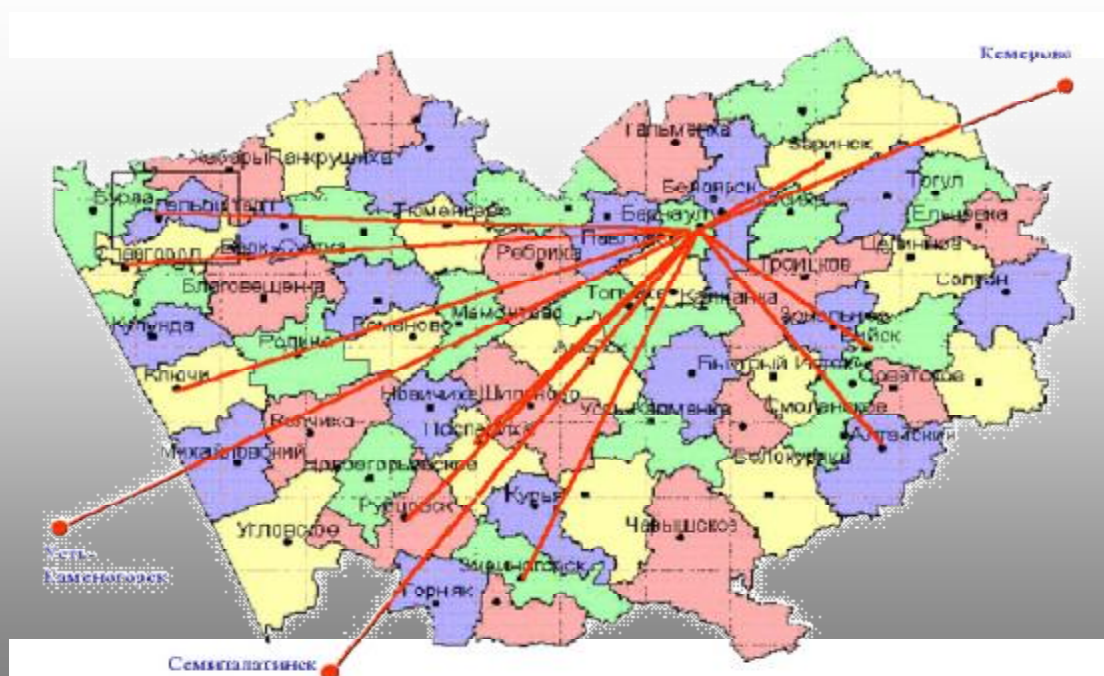
ректор АлтГТУ,
доктор физико-
математических
наук, профессор,
академик МАН ВШ,
заслуженный
деятель науки РФ,
лауреат
премии президента
РФ в области
образования



Расположение АлтГТУ

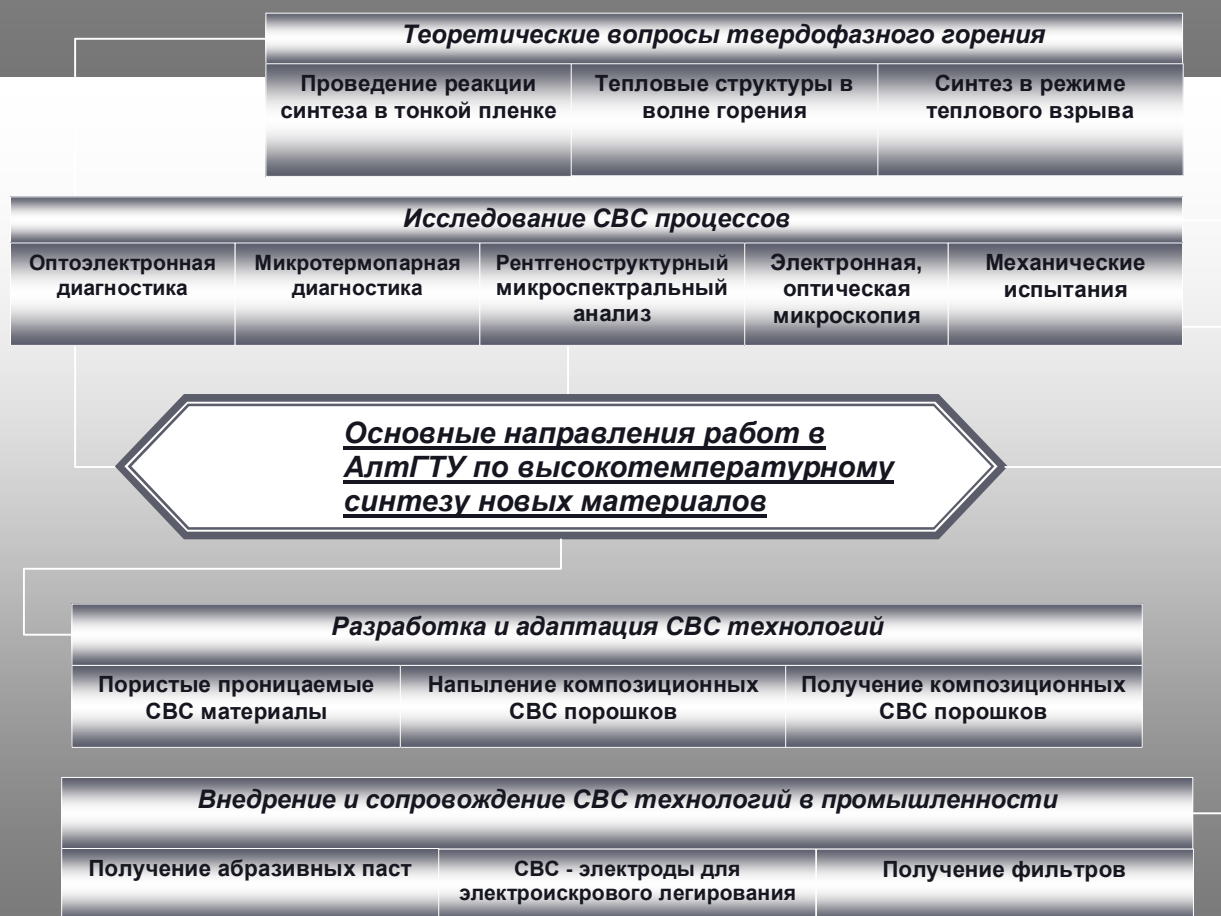


Расположение АлтГТУ в регионе



В Алтайском отделении проводятся работы по основным разделам:

- теоретические исследования процессов твердофазного горения с целью создания принципов управляемого режима синтеза, исследования динамики развития очагов горения в процессе СВ-синтеза, оценки параметров энергии активации, теплопроводности, исследование формирования пористой структуры в реакционной порошковой системе с добавками инертного материала, исследование неустойчивости волны горения, определение влияния плазмы на СВС-материалы, твердофазные превращения в тонких пленках при детонационном напылении, высокоэнергетические воздействия концентрированными потоками энергии на реакционную среду и т.п.
- разработка и адаптация новых технологий СВ-синтеза, промышленное освоение и внедрение новых технологий, например в производстве фильтрующих элементов и защитных покрытий. Коллективом ученых центра СВС-материалов АлтГТУ выдвинута и развивается концепция интегральных СВС-технологий. Суть ее в том, что весь цикл разработки проводится применительно к общему прототипу (базовому образцу), а «специализация» материалов к конкретным условиям эксплуатации осуществляется на заключительном этапе путем модифицирования свойств. При необходимости расширения номенклатуры образцов или изменений требований к материалу вновь осуществляется лишь модификация базового образца.



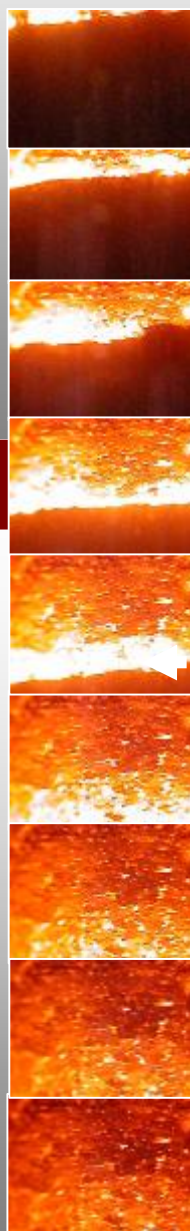
Оптоэлектронная диагностика СВС - процесса

Развитие в АлтГТУ получили методы оптической микропирометрии дисперсных сред.

Разработан оригинальный экспериментальный комплекс для исследования тонкой тепловой структуры волны горения и процессов фазообразования в СВС-материалах.

Экспериментальный комплекс оптической микропирометрии позволяет:

- § Проводить оптическую
- § регистрацию зоны химического
- § взаимодействия дисперсной
- § среды с учетом коэффициента
- § перекрытия от излучения реакционных
- § зон в поле зрения пирометра.
- § Исследовать очаговый характер
- § твердофазной реакции
- § высокотемпературного синтеза.



Исследование СВС - процессов

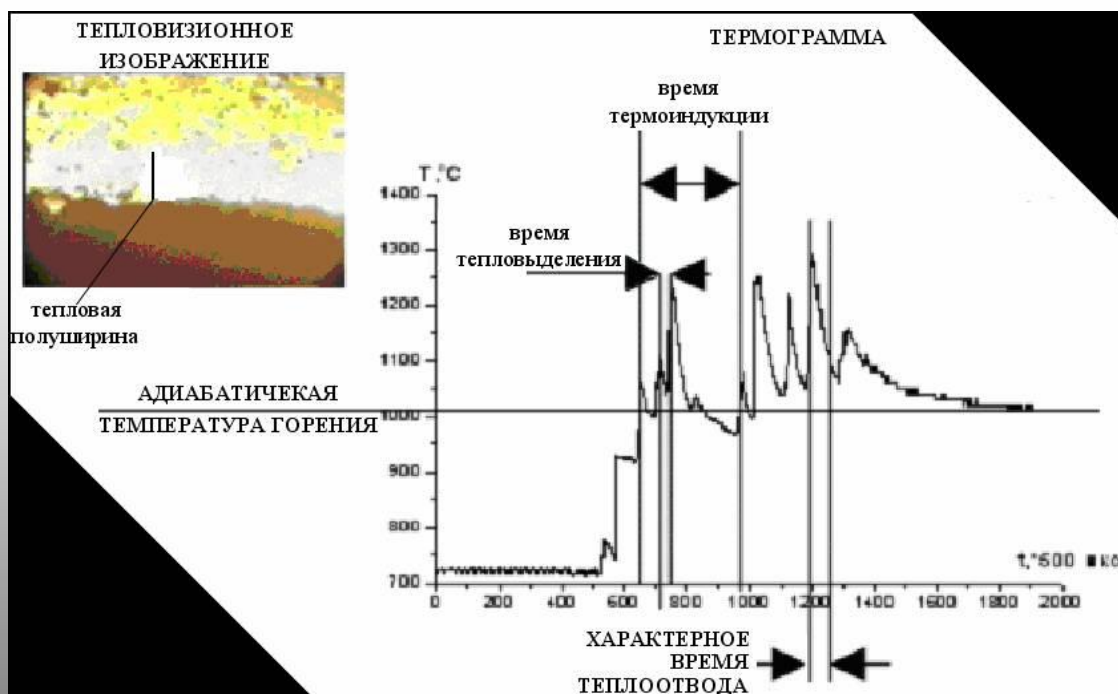


Теоретические вопросы твердофазного горения

Создана комплексная методика для исследования физических процессов структурно-фазовых превращений в СВС-материалах. Суть ее в сопоставлении термограмм высокого временного и пространственного разрешения с диаграммами фазовых состояний, а также в определении характерных масштабов в тепловой структуре волны горения СВС.

Использование методики позволяет анализировать динамику быстропротекающих процессов при фронтальном горении порошковых смесей.

Высокое пространственно-временное разрешение комплекса дает возможность анализировать дискретную структуру фронта горения.



Тепловые структуры в волне горения

Синтез в режиме теплового взрыва

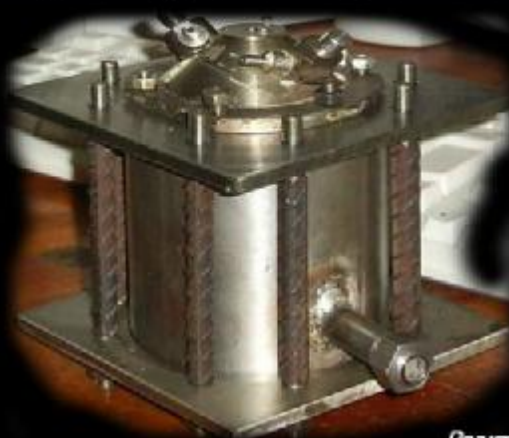
Сплавы на основе алюминидов титана широко применяются в авиастроении из – за их малого удельного веса, высокой прочности к разрыву, давлению, действию агрессивных сред при высоких температурах.

В АлтГТУ проводятся исследования процессов фазообразования при синтезе алюминидов титана в режиме теплового взрыва, с целью направленного влияния на динамику структурообразования.

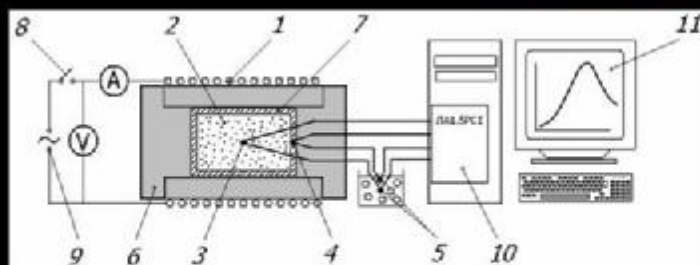
Спроектирован и создан реактор для проведения СВ-синтеза с блоком управления нагрева, системой принудительного охлаждения, а также с системой температурной диагностики процесса разогрева с применением многоканальной быстродействующей платы сбора и обработки данных.

Система принудительного охлаждения позволяет получать метастабильные фазы и твердые растворы, что имеет важное прикладное значение.

Теоретические вопросы твердофазного горения



Реактор для проведения СВ-синтеза



Блок – схема установки температурной диагностики СВ – синтеза в режиме теплового взрыва. 1 – нагревательный элемент, 2 – реагирующая смесь, 3 – термопара для контроля динамики разогрева смеси, 4 – термопара для контроля температуры стенки, 5 – компенсирующие термопары, 6 – стальной реактор, 7 – теплоизоляционный асбестовый слой, 8 – выключатель, 9 – источник напряжения, 10 – плата сбора и обработки данных ЛА 1.5 РС1, 11 – монитор.

Синтез в режиме теплового взрыва

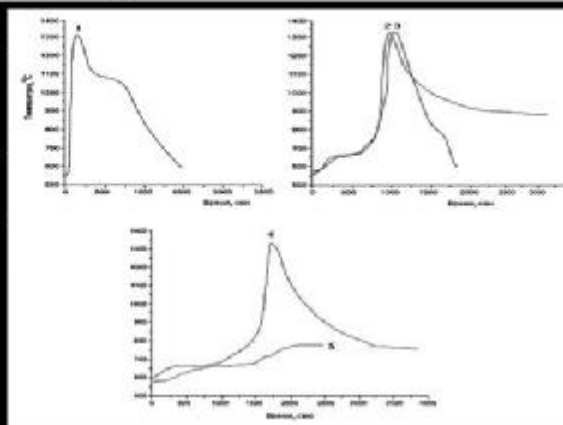
Использование реактора открывает широкие возможности управления процессами структурообразования для получения продукта синтеза с требуемым набором механических и физико-химических свойств.

Представлены термограммы саморазогрева бинарной порошковой смеси $Ti - Al$ и фотографии микроструктуры продукта, полученного в режиме отключения источника внешнего нагрева (термограммы 1,3).

Из результатов микроанализа (Camebax) следует, что в продукте синтеза нет исходных компонентов в чистом виде, несмотря на то, что порошковая смесь соответствует стехиометрии соединения $TiAl_3$, следовательно фазы продукта являются твердыми растворами пересыщенными алюминием. Плато на термограммах соответствует этапу вторичного структурообразования. Таким образом, естественное охлаждение смеси, в данной системе, может привести к формированию метастабильных фаз.

Теоретические вопросы твердофазного горения

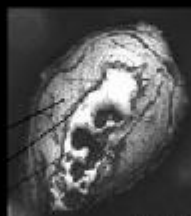
Термограммы синтеза при различных значениях температуры стенки реактора. 1 – $T_0 = 1050^\circ C$ (в точке максимума произведено отключение источника разогрева), 2,3 – $T_0 = 850^\circ C$ (термограмма 3 – синтез с отключением), 4 – $T_0 = 750^\circ C$, 5 – $T_0 = 730^\circ C$ (синтез без отключения).



30 мкм

$TiAl_3$
 $TiAl_2$
 $TiAl + Ti_3Al$

$TiAl_3$
 Ti_3Al
 Ti

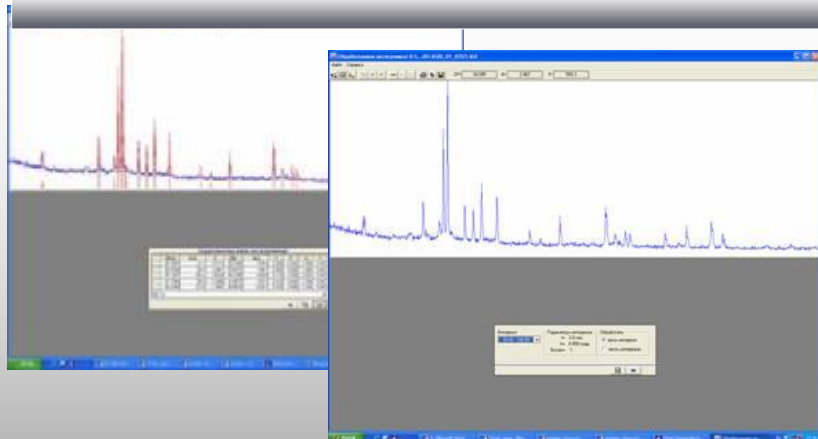


30 мкм

Фотографии характерных элементов структуры, соответствующие режимам 1 и 3.

Синтез в режиме тепловоза взрыва

Исследование СВС - процессов свойств продуктов синтеза



Для анализа количественного и качественного состава продукта синтеза используется дифрактометр рентгеновский ДРОН – 6

Рентгеноструктурный микроспектральный анализ



Электронная, оптическая микроскопия композиционных СВС материалов

Для проведения качественного и количественного металлографического и гранулометрического анализа материалов, полученных методом СВС используется автоматический анализатор изображения «ВидеоТЕСТ».

Позволяет:

- Проводить фазовый анализ продуктов синтеза
- Определять гранулометрический состав порошкового материала
- Оценивать пористость СВС- материалов

Исследование СВС - процессов свойств продуктов синтеза



Автоматический анализатор изображения «ВидеоТЕСТ»

Электронная, оптическая микроскопия композиционных СВС материалов

Пористые проницаемые СВС - материалы

Освоено производство фильтров из алюминидов никеля для систем водоочистки энергетических установок, керамических фильтров на основе окислов алюминия и железа, используемых для очистки воздушно-газовых смесей, эмульсий и растворов. Послойный характер реакции СВ-синтеза обуславливает направленный характер образования пористого каркаса получаемых материалов, что позволяет изготовить проницаемые материалы с малым гидравлическим сопротивлением при сохранении высоких фильтрующих свойств.

Наличие «пристеночного эффекта» позволяет реализовать для СВС-фильтров режим поверхностной фильтрации и саморегенерации при очистке газопылевых сред с высокой степенью запыленности. Эффективность очистки эмульсии и воды – не менее 95 %, воздушно-газовых смесей и сажи – не менее 95-98 %. Коэффициент удержания соединений меди, хрома и никеля в гальванических и травильных растворах – не менее 95 %. Производительность фильтров варьируется в широких пределах от 1 л/час до 1000 л/час. Срок службы – не менее 1 года, а профилактика осуществляется простой промывкой водой или на ультразвуковой установке. Одними из перспективных направлений в работе с пористыми проницаемыми материалами являются переработка отходов металлургического производства с восстановлением металлов из окислов с чистотой до 95 % и синтез низкоэкзотермических составов под воздействием электрического тока.



Образцы фильтрующих элементов, полученных методом СВС

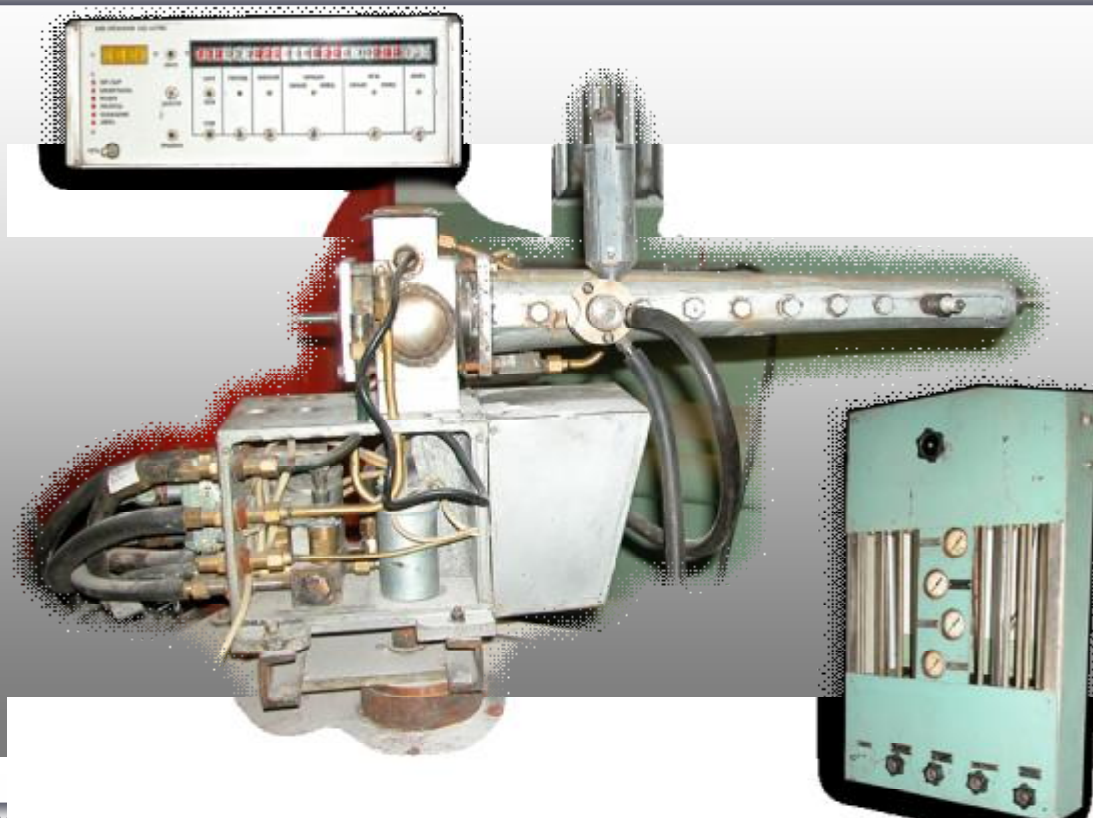
Пористые проницаемые СВС - материалы

Напыление композиционных СВС - материалов

Концепция интегральных технологий предполагает заверченный цикл применения порошковых СВС материалов. В лаборатории АлтГТУ исследуется процессы детонационно-газового напыления (ДГН) синтезированных материалов.

Процессы ДГН характеризуются высокой скоростью дисперсного потока (до 1000 м/с) и температурой (до 3000 К), что обеспечивает хорошую адгезию и позволяет получить компактный материал покрытия с пористостью 0,5 - 6 %.

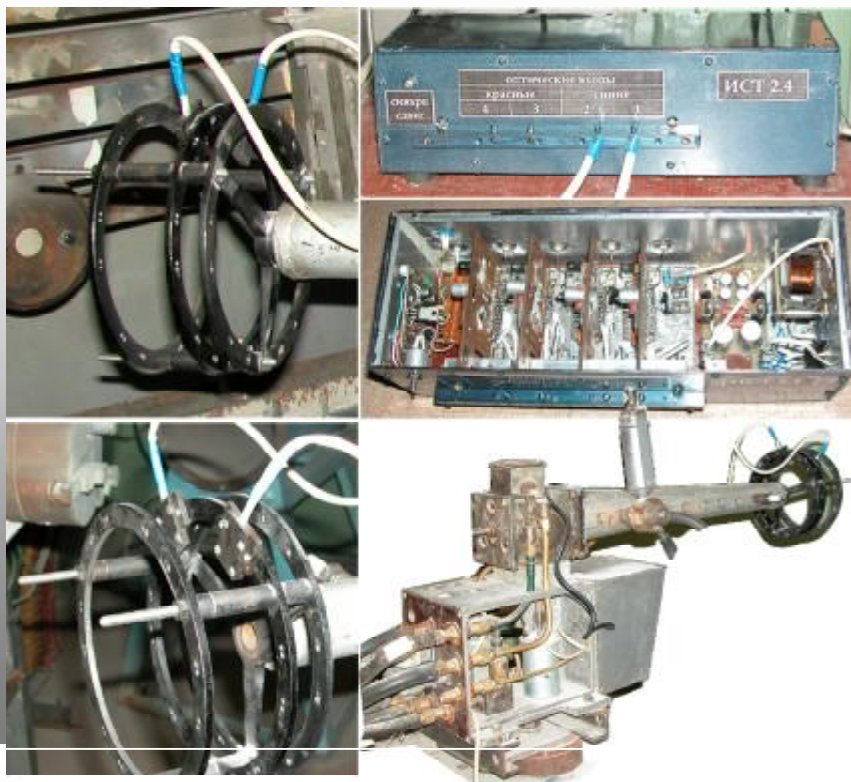
Разработка и адаптация СВС - технологий



Установка для напыления СВС - композиционных материалов

Напыление композиционных СВС - материалов

Для напыления новых материалов в АлтГТУ создан экспериментальный стенд исследования импульсных газодисперсных потоков на основе многоканального анализатора теплового спектра частиц конденсированной фазы и оптоэлектронного времяпролетного измерителя скорости дисперсного потока.



Диагностический комплекс контроля процесса напыления СВС - материалов

На поверхности основы при напылении происходят процессы, сопровождающиеся образованием новых фаз. В результате экзотермических процессов происходит улучшение качества сцепления покрытия с основой.

Таким образом, высокие температуры и давления, развиваемые в процессе ДГН, могут стимулировать процессы вторичного структурообразования, либо процессы образования новых фаз при напылении многокомпонентных систем.

В таблице представлены результаты напыления порошков боридов титана, полученных методом СВС, со связкой *Fe* и *Ni* на стальные подложки методом детонационно-газового напыления. Покрытия из композиционных материалов, полученных методом СВ-синтеза, отличаются повышенной твердостью (@ 70 – 80 HRA) по сравнению с покрытиями, полученными серийными порошками ПГ-СР-4 (@ 55 HRA).

Исследования проведены совместно с **ТНЦ СО РАН** отдел структурной макрокинетики

Тип порошка	Конечная фаза	Микро-твердость	Дисперсность порошка,	К-во циклов напыления
ПГ-СР-4*	-	54-56	50	100
TiB ₂ -Fe	TiB ₂ , α-Fe+Fe ₂ TiO ₅	80	100	300
TiB ₂ -Fe	TiB ₂ +α-Fe	65-77	100	300
TiB ₂ -Ni	TiB ₂ +Ni ₃ Ti+Ni	79-80	63-100	100
TiB ₂ -Ni	TiB ₂ , Ni ₃ Ti, Ni	70-75	63-100	100

* Серийно выпускаемый порошковый материал

Характеристики покрытий из композиционных материалов

В процессе детонационно – газового напыления вопрос о динамике разогрева поверхности основы с напыляемым слоем является весьма важным, поскольку температура контакта во многом определяет адгезионные свойства покрытия.

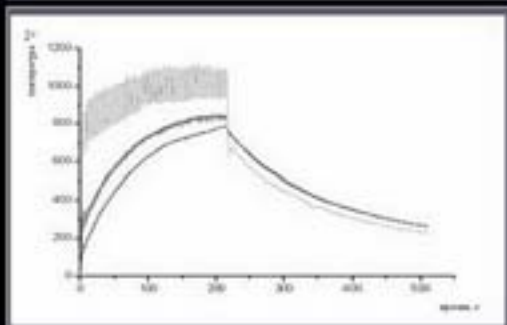
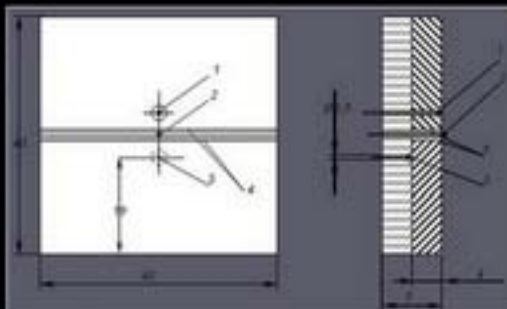
В лаборатории СВС – материаловедения сконструирован специальный микротермопарный датчик для контроля температуры поверхности напыления, температуры внутренней поверхности основы, и температуры газодисперсного потока. Так как датчик является низкоинерционным это дает возможность регистрации быстропротекающих процессов изменения температуры на поверхностях основы и температуры газодисперсного потока вблизи поверхности основы.

Представлены термограммы напыления интерметаллидного порошка TiAl₃. Из термограмм следует, что благодаря высокой чувствительности датчика, отслеживаются колебания температуры, связанные с цикличностью процесса (скважность импульсов 0,25с).

Использование контактного микротермопарного датчика позволяет решить проблему диагностики дисперсного потока и контролировать температуру контакта слоя и основы, чего нельзя осуществить с использованием методов оптической пирометрии.

Исследование СВС процессов свойств продуктов синтеза

Датчик для контроля температуры поверхности
основы напыления и температуры лотка.
1 - термодатчик для контроля температуры
внешней поверхности;
2 - термодатчик для контроля температуры лотка;
3 - термодатчик для контроля температуры
внутренней поверхности;
4 - сквозная прокладка.



Микротермопневматическая диагностика основы для напыления композиционных СВС материалов

Исследование СВС - процессов свойств продуктов синтеза

Исследование СВС процессов свойств продуктов синтеза

Стенд для определения
адгезионных характеристик
покрытий полученных
методом детонационного
напыления из СВС
материалов



Компьютеризированный
комплекс для определения
триботехнических
характеристик СВС
материалов

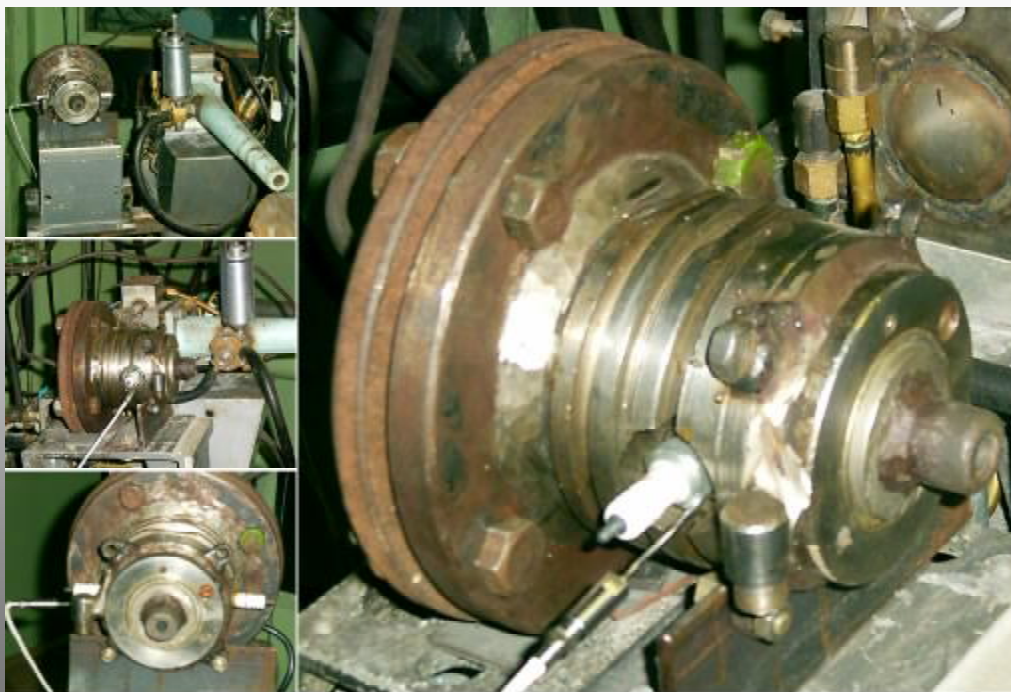
Механические испытания

Разработка и адаптация СВС - технологий



Детонационная камера с изменяемой геометрией отражающих поверхностей

Создана импульсная детонационная камера с изменяемой геометрией отражающих поверхностей для генерации сверхзвуковых двухфазных потоков. Использование изменяемой геометрии отражающих поверхностей делает возможным управление параметрами несущего потока и следовательно свойствами получаемого материала покрытия.



Детонационная камера с изменяемой геометрией отражающих поверхностей

Выводы

1. Создан экспериментальный комплекс оптической микропирометрии для исследования тонкой тепловой структуры волны горения СВС.
2. Создан реактор с блоком управления нагрева для проведения СВ - синтеза.
3. Разработана технология получения фильтрующих элементов СВ - синтезом с использованием отходов машиностроительного производства (окалина высоколигированных сталей)
4. Создана принципиально новая конструкция детонационной камеры для генерации сверхзвуковых двухфазных потоков, при детонационно-газовом напылении композиционных СВС - материалов.
5. Получены и испытаны фильтры нейтрализаторы – катализаторы выхлопных газов ДВС.
6. Разработана технология изготовления СВ - синтезом электродов для электроискрового легирования рабочих органов сельскохозяйственных машин.
7. Освоено производство тонких абразивных СВС - порошков, для производства паст, применяемых при финишной обработке деталей машин