

## ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УДАРНЫХ ТРУБАХ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ СВС-МАТЕРИАЛОВ

В.В. Евстигнеев, В.И. Яковлев, А.А. Гладких

*В работе исследовалось детонационное напыление дисперсных систем Ni-Al, Ti-Al, TiB<sub>2</sub>, моделирование ударной трубы при детонации газовой смеси, оптическая регистрация свечения фронта ударной волны в детонационных трубах.*

*Результаты исследования создают возможности получения новых интерметаллидных СВС- материалов в виде детонационных покрытий.*

Метод СВ-синтеза обеспечил возможность получения значительного числа соединений в дисперсном (порошковом) виде. Среди материалов особое место занимают порошки интерметаллидных тугоплавких соединений. Интерметаллические соединения представляют собой класс материалов, использование которых в различных областях техники интенсивно расширяется благодаря уникальным комплексам свойств (включающим высокие температуры плавления, повышенную механическую прочность, жаропрочность и жаростойкость) как в виде компактных материалов (изделий), так и в виде дисперсных материалов, предназначенных для получения покрытий [1]. Вышесказанное предопределило интерес к проблематике дисперсных СВС-материалов для нанесения покрытий.

Технологическая схема получения продуктов на основе интерметаллических соединений включает три основные стадии:

а) Получение заготовок для СВ-синтеза, предполагающее сушку порошков, дозировку компонентов и их смешивание. Полученные реакционные смеси размещаются в реактор, представляющий собой трубу с фланцами, имеющими крышки с токоподводами и штуцерами для подвода инертного газа;

б) СВ-синтез целевого продукта, иницируемый либо внешним тепловым источником, либо (в случае проведения теплового взрыва - нагревом смеси до температуры самовоспламенения);

в) Размол и рассев продуктов СВ-синтеза.

Оптимальные условия получения интерметаллических соединений методом СВС таковы:

- начальная температура синтеза в режиме послыдного горения для получения пористого штабика и слитка равна соответственно 0,2-0,4 и 0,5-0,7 от температуры плавления конечного продукта;

- начальная температура синтеза в режиме теплового взрыва близка к температуре плавления низкоплавкой эвтектики или легкоплавкого компонента;

- минимальный диаметр заготовки более 3 см (с целью уменьшения теплопотерь и выполнения адиабатических условий синтеза);

- дисперсность и марки исходных порошков, концентрация основных и легирующих компонентов варьируются с целью получения материала с заданными составом и свойствами.

Настоящий этап исследований предполагает изучение возможности получения покрытий порошковых алюминидов никеля и титана, карбидов титана и определение наиболее эффективных путей управления структурой и фазовым составом получаемых материалов (как параметрами, в целом определяющими их эксплуатационные качества) с целью создания промышленных образцов и технологии производства материалов покрытий.

В процессе детонационного напыления покрытий из СВС-материалов ведущим механизмом разгона и перемещения частиц является распространение ударной волны в трубе установки.

По классическим представлениям [3/5], возникновение и стационарное распространение детонационных волн в газах объясняется ударным нагревом и адиабатическим самовоспламенением смеси, происходящим по истечении периода химической индукции в реакционных зонах. Согласно этому механизму, возбуждение детонационных процессов возможно с помощью сильных ударных волн [6]. Моделирование ударной волны в канале

позволяет более обоснованно подходить к созданию определенных профилей каналов, в которых может быть реализован случай возникновения сильной ударной волны.

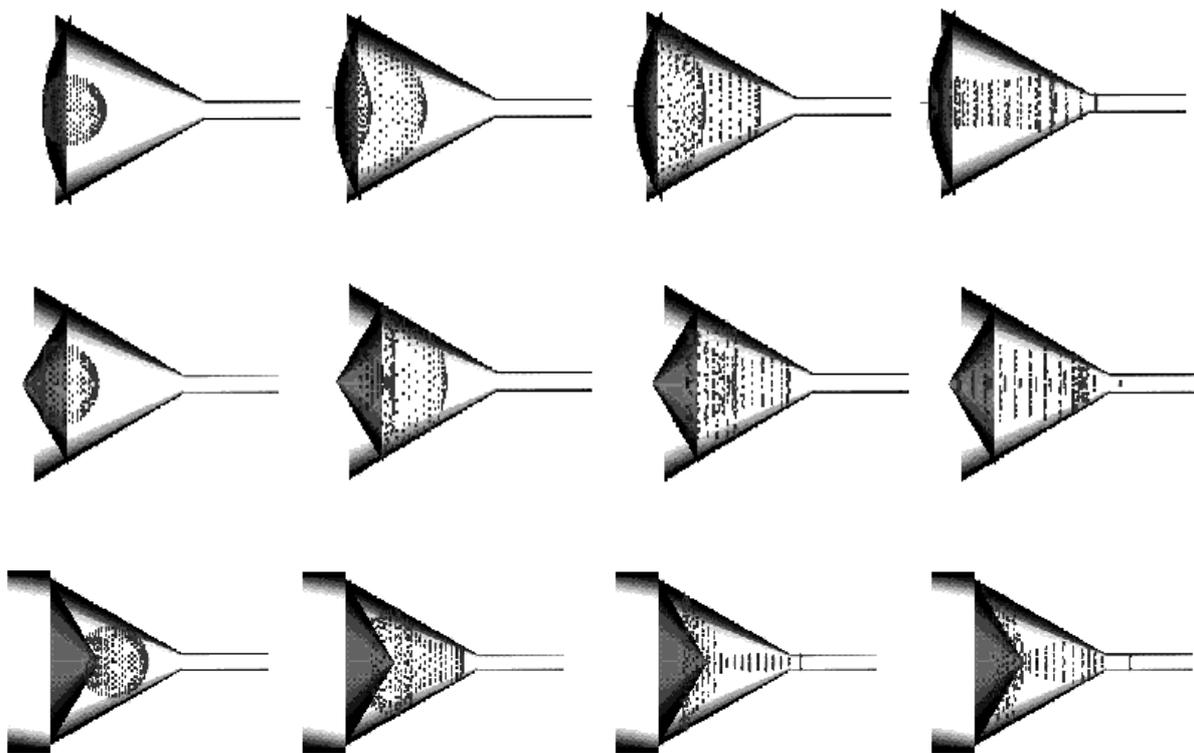
В данной работе проведено моделирование и исследование распространения ударной волны в конических профилированных каналах детонационных устройств с различными конфигурациями отражающих донцов.

Сравнительно простыми аналогиями с акустическими волнами и подбором геометрии донца получена определенная конфигурация устройства, в котором возможно получение сильной ударной волны. Моделирование проводили с использованием графического пакета 3DS MAX. В месте инициирования детонации

помещалась система активных центров, изображаемых в виде точек. После запуска программы активные центры начинали распространяться по пространству канала. При соударении со стенками канала они изменяли направления по нормальному закону. Количество точек составляло порядка 2000. По аналогии с распространением акустических волн зоны с максимальной концентрацией точек позволяли наглядно графически представить интерференцию ударных волн в канале.

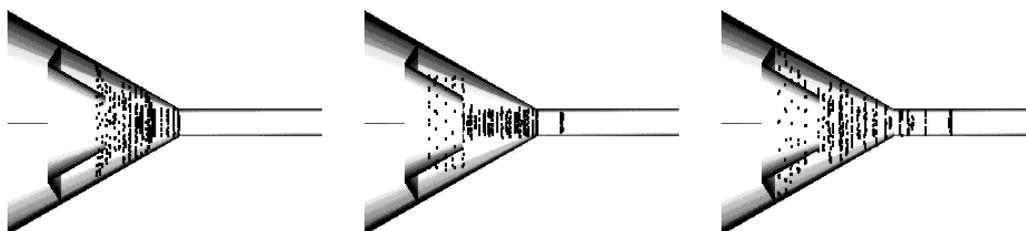
Критерием подбора геометрии является возникновение зоны интерференции в цилиндрическом участке канала.

Ниже представлены наиболее характерные примеры изображения проекций интерференции ударных волн.



Завершением этапа моделирования явился отрагатель ударной волны в виде сходящейся полости. Наблюдается

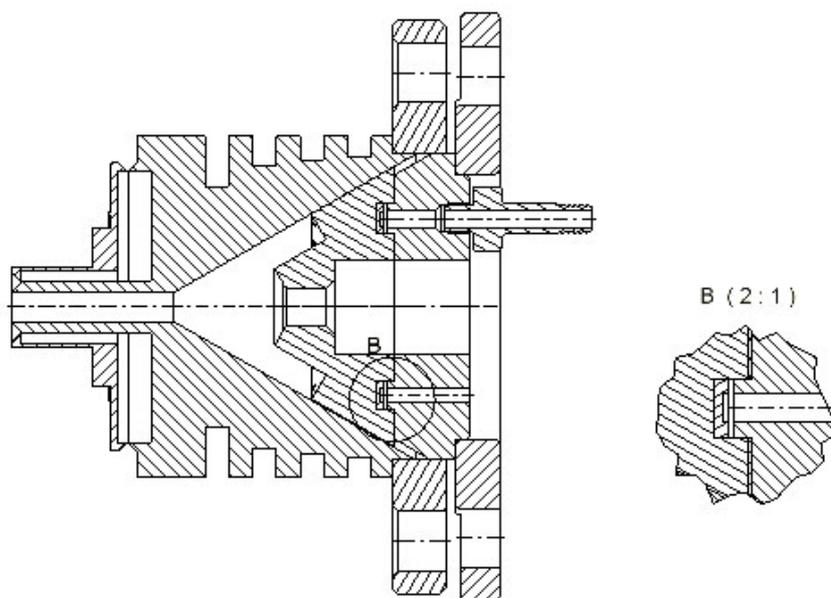
интерференция ударных волн из сходящейся полости.



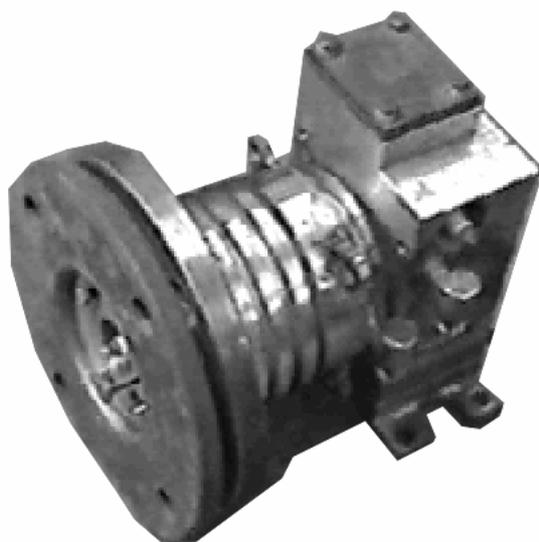
## ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УДАРНЫХ ТРУБАХ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ СВС-МАТЕРИАЛОВ

Как видно, при использовании пакета подбор значительно упрощается и сокращается по времени.

В дальнейшем была разработана конструкция и изготовлена ускорительная взрывная камера.



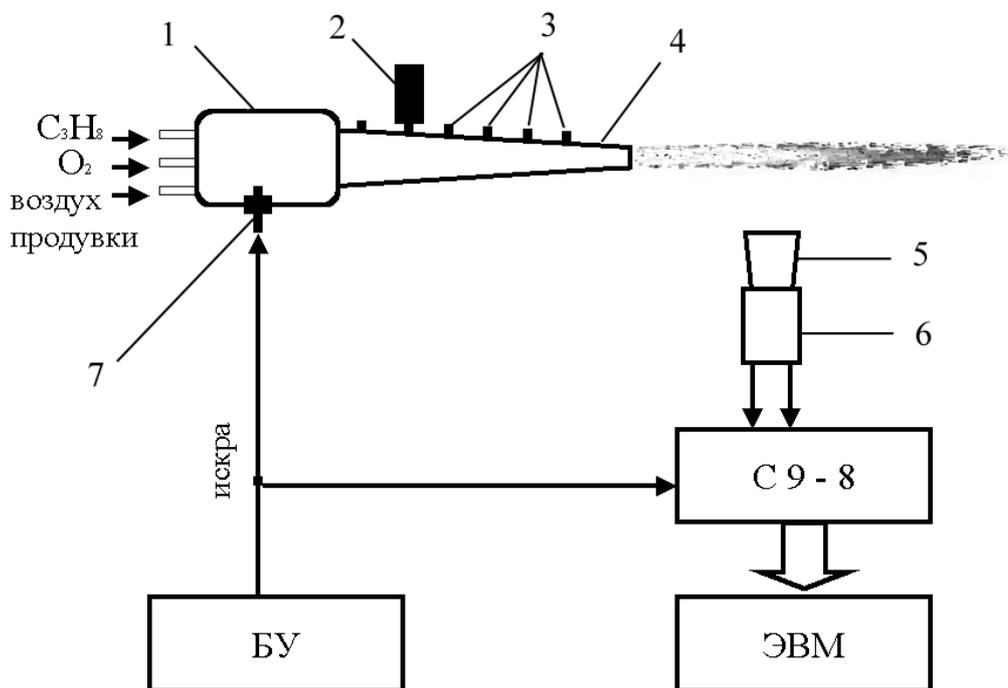
Конструкция ускорительной камеры



Образец ускорительной камеры

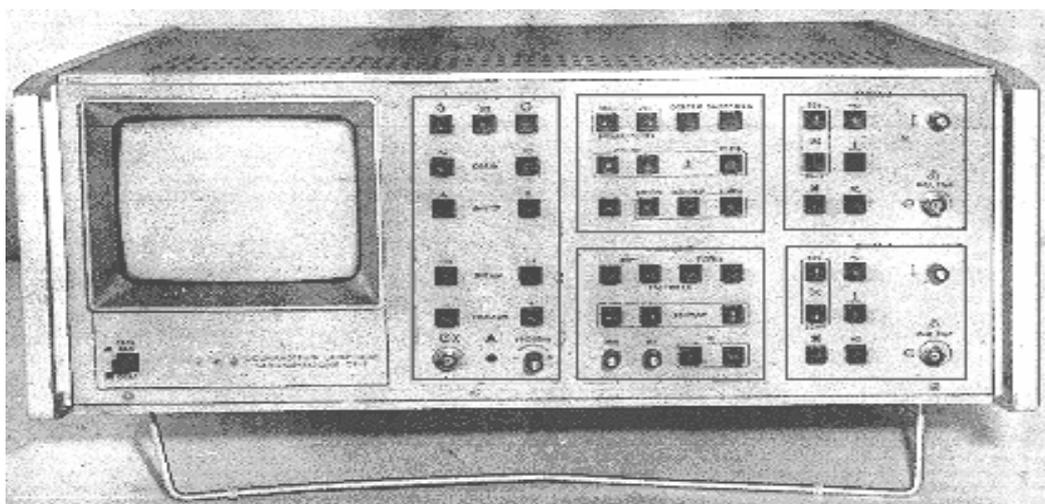
Экспериментальное исследование потоков, генерируемых установкой детонационно-газового напыления «Катунь-М» с ускорительной камерой, проводилось с использованием оптической регистрации свечения потока [4/7].

На рисунке изображена схема проведения эксперимента.



Измерительный комплекс регистрации дисперсных самосветящихся потоков создан на базе серийно выпускаемых блоков и узлов. При этом экспериментатору приходится меньше уделять времени для разработки комплектации и испытания своей

аппаратуры. Исходя из этого принципа, сконструировано скоростное оптоэлектронное устройство регистрации свечения. Основой комплекса служит цифровой запоминающий осциллограф С9-8, выполняющий функции:



Цифровой запоминающий осциллограф С9-8

## ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В УДАРНЫХ ТРУБАХ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ СВС-МАТЕРИАЛОВ

- 1) промежуточного усиления сигнала;
- 2) аналого-цифрового преобразования, накопления и хранения информации;
- 3) задания режимов измерения (период дискретизации, задержка-опережение, режим синхронизации и т.д.);
- 4) отображения на экране ЭЛТ периодических и однократных сигналов;
- 5) измерения амплитудных и временных параметров сигналов с отображением результатов измерения в буквенно-цифровой форме;
- 6) работу в системах с дистанционным управлением и выдачей информации по интерфейсу типа КОП (канал общего пользования).

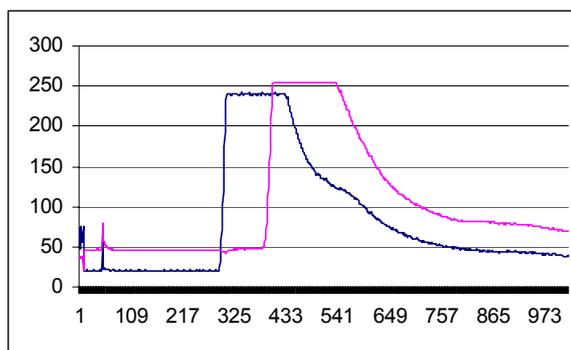
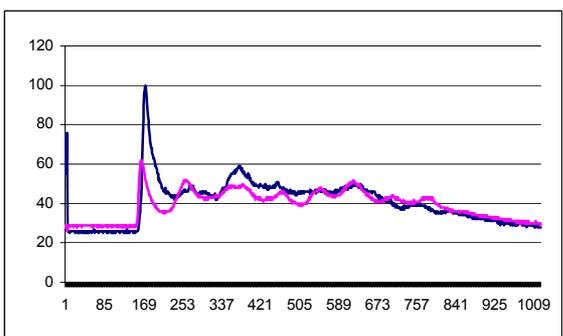
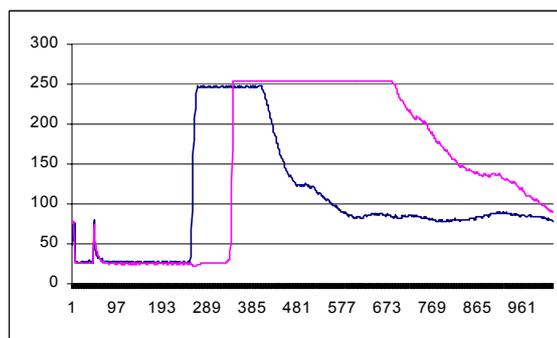
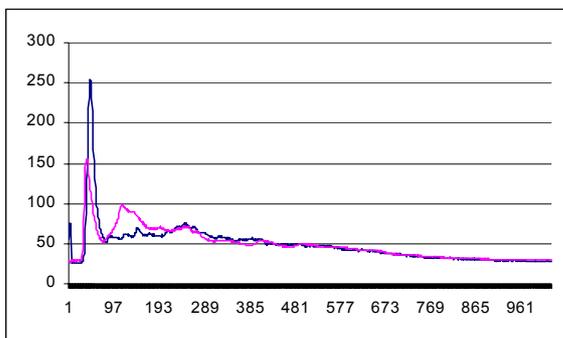
В качестве оптической головки использовалась ФД-камера.

Осциллограф С9-8 имеет нестандартный (по отношению к ЭВМ) внешний интерфейс КОП, поэтому при разработке схемы обмена данными применялась стандартная плата И2, для которой разрабатывалось собственное оригинальное программное обеспечение. Осциллограф, работающий в системе по линии КОП, обеспечивает следующие интерфейсные функции:

1. Синхронизацию передачи источника – используется для контроля начала и окончания передачи многолинейного сообщения;
2. Синхронизацию приема – обеспечивает верное получение устройством дистанционных многолинейных сообщений;
3. Источник – обеспечивает возможность послать данные осциллографа или данные об органах управления во внешнюю ЭВМ;
4. Приемник – обеспечивает получение данных через интерфейс из внешней ЭВМ или других устройств;
5. Запрос на обслуживание – обеспечивает возможность асинхронно запрашивать обслуживание от контроллера;
6. Запуск устройства – позволяет произвести разблокировку запуска, т.е. аналогичен входу разблокировки;
7. Очистку устройства.

В результате поведения экспериментальных работ получены осциллограммы светимости газового потока .

Примеры регистрации оптического сигнала на экспериментальном стенде



**Выводы:**

1. Метод СВ-синтеза позволяет получить дисперсные материалы Ni-Al, Ti-Al, TiB<sub>2</sub> различной стехиометрии с контролируемым фазовым составом и структурой.
2. Детонационные покрытия нанесенных дисперсными СВС-материалами систем Ni-Al, Ti-Al, TiB<sub>2</sub> характеризуются наследственностью по отношению к соответствующим параметрам первичного продукта.
3. При использовании предложенной методики графического моделирования распространения ударной волны в каналах переменного сечения подбор конфигурации канала значительно упрощается и сокращается по времени. По результатам моделирования распространения ударной волны в конических профилированных каналах детонационных устройств спроектирована и изготовлена опытная камера детонационно-газовой установки.
4. Обнаружено существенное изменение структуры потока при переходе в сверхзвуковой режим и появление ярко выраженной сильной ударной волны.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия/ Под. ред. Б.С. Митина. - Москва: Металлургия. - 1987. - 792 с.
2. Богуслаев В.А., Долматов А.И., Жеманюк П.Д., Кулагин А.И., Михайлуца В.Г., Симоненко В.А. Детонационное нанесение покрытий на детали авиадвигателей и технологического оснащения с последующей магнитно-абразивной обработкой. – Запорожье: Дека, 1996. - 366 с.
3. Жуков М.Ф., Солоненко О.П. Высокотемпературные запыленные струи в процессах обработки порошковых материалов / Под. ред. В.Е. Накорякова. Новосибирск, ИТ СО АН СССР. 1990. - 516 с.
4. Гуляев П.Ю., Гумиров М.А., Курбатов Д.Ю. Корреляционный измеритель линейной скорости и температуры в газотермических процессах и СВС - процессах "ЛИСТИК" / Проблемы промышленной СВС - технологий. Труды международной научно-технической конференции. - АлтГТУ, - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1994. - С. 5-10.
5. Солоухин Р.И. Ударные волны и детонация в газах. М.: ГИФМП, 1963.
6. ИГиЛ СО РАН "отчет по Х/Д 13-81" Исследование явления пережатой детонации в газовых смесях различного состава, анализ и обоснование выбранной схемы установки для нанесения покрытий пережатой детонационной волной. – Новосибирск, 1981.
7. Евстигнеев В.В., Гуляев П.Ю., Яковлев В.И., Шарлаев Е.В. Интегральная экспресс-диагностика параметров теплопереноса твердой фазы в детонации // Сб. науч. тр. "Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии. - Новосибирск: Наука, 2001. - С. 172-178.