

Рисунок 8. Зависимость скорости горения АМНГ от массы образца

В четвертую группу (образец не воспламенился) вошли следующие образцы: АНУ и ДАНКМГ/У5.

Результаты работ представлены в таблице 7.

Исходя из представленного графика зависимости скорости горения АМНГ от массы образца, можно предположить, что с дальнейшим увеличением массы можно получить еще более высокую скорость горения. Однако, также можно ожидать и переход горения в детонацию.

Подавить процесс взрывного горения путем введения низкоэнтальпийного вещества (уретана) не удалось. При большом количестве флегматизатора (64 %) состав не воспламенился. На начальном этапе, при введении в состав уретана до 20 % наблюдается уменьшение скорости горения, но исходя из

рисунка 8, можно сказать, что уретан никакого влияния не оказал.

Вещества, относящиеся ко 2 группе (быстрое горение 1000÷3000 мм/с), воспламеняются стабильно от воспламенителя и сгорают полностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы процессы горения веществ на основе производных мочевины в условиях стендовых испытаний. Показано, что изученные вещества классифицируются на 4 группы по следующим признакам: взрывное горение, быстрое горение, медленное горение и отсутствие горения.

2. Образцы АНГК и АНГК/У20 имеют высокую скорость горения до 8000 мм/с, при этом горение носит взрывной характер.

3. Ко 2 группе веществ (быстрое горение) относятся высокоэнергетические соединения со скоростью горения в интервале 1000÷3000 мм/с.

4. К 3 группе веществ (медленное горение) относятся высокоэнергетические соединения со скоростью горения в интервале 8÷18 мм/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сакович Г.В., Ильясов С.Г., Казанцев И.В., Ильясов Д.С., Аверин А.А., Шатный М.В. // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4. – С.
2. Сакович Г.В., Ильясов С.Г., Казанцев И.В., Ильясов Д.С., Аверин А.А. // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4. – С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ АММОНИЕВОЙ СОЛИ НИТРОМОЧЕВИНЫ В УСЛОВИЯХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Г.В. Сакович¹, С.Г. Ильясов¹, И.В. Казанцев¹, Д.С. Ильясов¹, А.А. Аверин²

¹ Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН)

² ОАО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»

В работе представлены результаты стендовых и карьерных испытаний по исследованию процессов горения аммониевой соли нитромочевины (АНМ) и невзрывчатого газогенерирующего состава на ее основе.

Ключевые слова: скорость горения, газопроизводительность, аммониевая соль нитромочевины, низкотемпературный газогенератор.

ВВЕДЕНИЕ

Термодинамические расчеты нитропроизводных мочевины показывают высокую удельную газопроизводительность [1]. При-

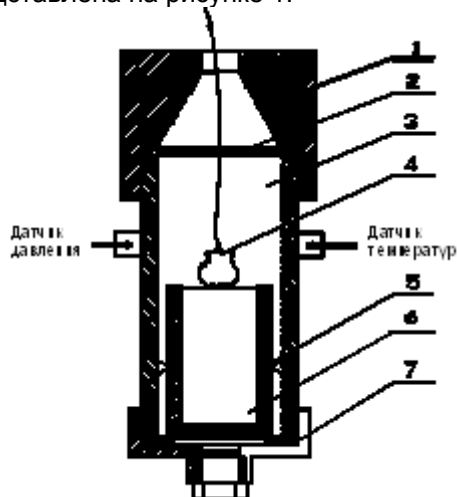
мером является аммониевая соль нитромочевины (АНМ) с газовой производительностью на уровне 1242 л/кг при P=0,098 МПа, T=298 К.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ АММОНИЕВОЙ СОЛИ НИТРОМОЧЕВИНЫ В УСЛОВИЯХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Перспективность направления по созданию низкотемпературных газогенерирующих составов на основе нитропроизводных мочевины заключается в том, что данное соединение, как индивидуальный компонент, возможно рассматривать с позиции моноплива, способного к самоподдерживающемуся горению в широком диапазоне давлений и реализации большого объема относительно «холодных» газов ($900 \div 1100$ К). Кроме того, АНМ является низкочувствительным взрывчатым веществом, а газогенерирующий состав на ее основе АНМУ не способен развивать детонацию, что является предпосылкой для разработки портативных газогенераторов специального назначения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Испытанию подвергались образцы АНМ путем сжигания в газогенераторе со свободным объемом 70 см^3 . Схема генератора представлена на рисунке 1.



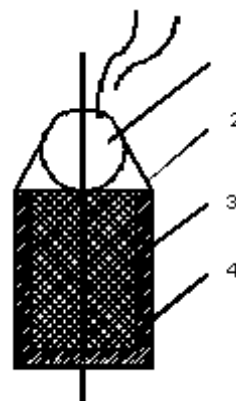
1 – сопловой вкладыш, 2 – решетка, 3 – сопловая крышка, 4 – воспламенитель, 5 – бронировка, 6 – образец ВВ, 7 – заглушка

Рисунок 1. Схема газогенератора $V=70 \text{ см}^3$

Температура в камере генератора измеряется датчиком ИС-470 (градуировки ВР), а давление – пьезометрическим датчиком ЛХ-412. С помощью соплового вкладыша можно выбирать давление в камере для надежного зажигания, исследуемого образца. Рабочее положение генератора – вертикальное.

Образцы АНМ готовились двух размеров: $d = 20 \text{ мм}$, $h = 30 \text{ мм}$ и $d = 20 \text{ мм}$, $h = 15 \text{ мм}$. Удельное давление прессования образцов – 800 кг/см^2 , 1000 кг/см^2 и 1200 кг/см^2 . Перед испытанием высота каждого образца измеряется штангенциркулем.

Для облегчения зажигания на гладкую поверхность образца наносятся риски. Воспламенитель, состоящий из смеси черного пороха марки КЗДП и ДРП, крепится на поверхности образца с помощью липкой ленты (рисунок 2). Инициирование воспламенителя проводилось от нихромового мостика. Запальные концы мостика выводились через сопло.



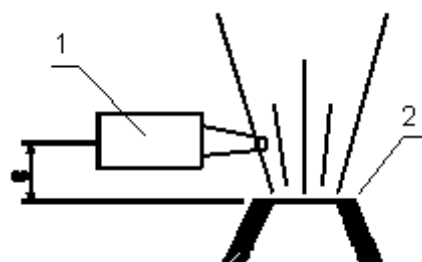
1 – воспламенитель; 2 – липкая лента; 3 – образец; 4 – бронировка

Рисунок 2. Схема образца с бронировкой и воспламенителем

Предусмотрена оценка влияния тепловой защиты на показания термопары путем теплоизоляции стенок генератора с помощью текстолитового вставного стакана.

Спай термопары в камере расположен над поверхностью образца на расстоянии, не менее 10 мм.

Помимо термопары, расположенной в камере, еще одна термопара помещалась за срезом сопла. Схема установки спаев показана на рисунке 3.



1 – термопара; 2 – сопло

Рисунок 3. Схема установки термопары

Конструкция газогенератора объемом камеры сгорания 140 см^3 представлена на рисунке 4.

Температура в камере генератора измерялась датчиком ИС-470 (градуировки ВР), а давление – пьезометрическим датчиком ЛХ-

412. Рабочее положение генератора – вертикальное. Воспламенитель, смесь пороха КЗДП и ДРП, насыпали на поверхность образца. Инициирование воспламенителя про-

водится от нихромового мостика. Запальные концы мостика выводятся через текстолитовый стаканчик и контактные электроды.

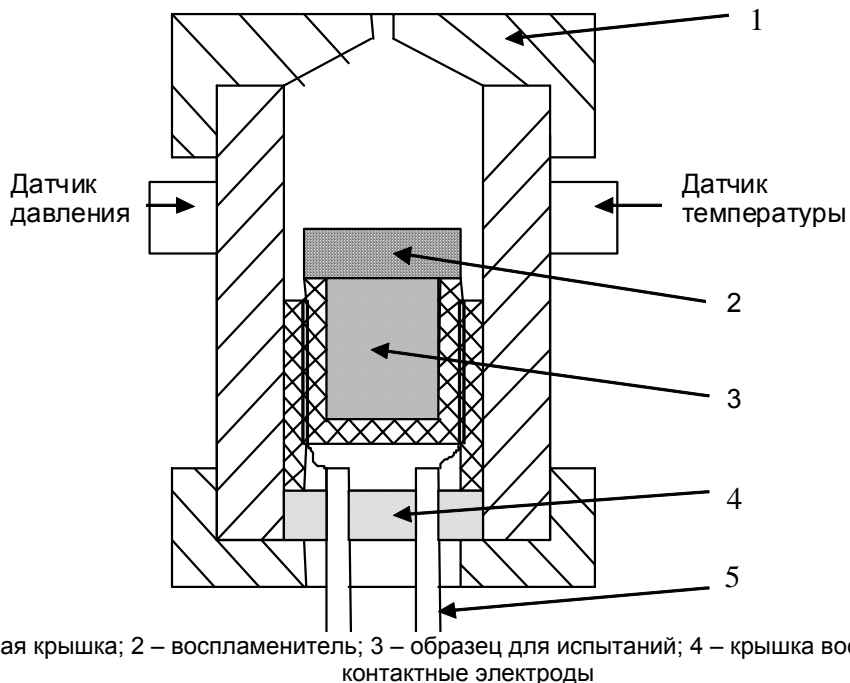


Рисунок 4. Схема газогенератора объемом 140 см³

Таблица 1

Результаты обработки режимов воспламенения

№ опыта	Размер сопла	Воспламенитель	Зажигание образца	Номинал датчика давления, кг/см ²	Примечание
1	d = 6 мм (медь)	2 г КЗДП-2 + 1 г ДРП-1	Отказ	150	—
2	d = 6 мм (медь)	5 г КЗДП-2 + 2 г ДРП-1	Отказ	150	Образец загорелся, но сразу погас
3	d = 3 мм (медь)	5 г КЗДП-2 + 2 г ДРП-1	Образец сгорел полностью	150	Датчик зашкалил
4	d = 3 мм (медь)	2 г КЗДП-2 + 1 г ДРП-1	Образец сгорел	600	—
5	d = 3 мм (медь)	1 г КЗДП-2 + 1 г ДРП-1 + 2 шт. пиротехнических таблеток ЗТ-65	Образец сгорел не полностью	600	Температура в камере 1050 °С

Примечание: данные образцы АНМ имели размер d = 20 мм, h = 30 мм

Таблица 2

Результаты испытаний образцов

№ образца	Давление, кг/см ²	Время горения, мс	Высота образца, мм	Скорость горения, мм/с	Уд. давление прессования, кг/см ²
15	290	20	14,9	745	1000
16	311	15	15,6	1040	1200
17	243	21	13,9	662	1000
18	221	29	13,25	457	1200

Примечание: разброс по скоростям горения ~ 50 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ АММОНИЕВОЙ СОЛИ НИТРОМОЧЕВИНЫ В УСЛОВИЯХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первые испытания по горению образцов в газогенераторе объемом 70 см^3 показали плохую воспламеняемость образцов и за отсутствием данных по скорости горения АНМ давление, при котором образец начинает устойчиво гореть, подбиралось опытным путем.

В таблице 1 приведены некоторые результаты отработки режима воспламенения. Практически, все образцы высотой $h=30 \text{ мм}$ сгорали не полностью и, начиная с образца № 12, использовалась высота $h = 15 \text{ мм}$.

Устойчивое горение образцов получили при следующих условиях заряжания:

- сопло 3,5 мм (сталь);
- воспламенитель 2,5 г КЗДП-2 + 1 г ДРП-1.

Диаграммы зависимости температуры от времени показаны на рисунке 5-6. Максимальная температура в этих опытах $820 \text{ }^\circ\text{C}$, а минимальная $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

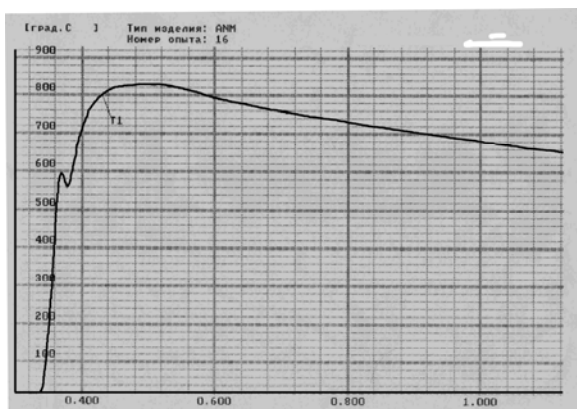


Рисунок 5. Зависимость температуры от времени при сгорании образца №16

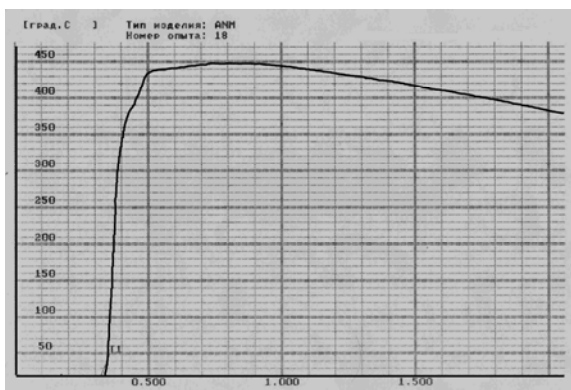


Рисунок 6. Зависимость температуры от времени при сгорании образца № 18

Влияния теплоизоляции стенок генератора (текстолитовый тонкостенный стакан) на кривой $T(t)$ замечено не было.

Опыты №№ 14, 15 совпадают в пределах погрешности эксперимента и близки к расчетной температуре $T_{\text{расч}} = 817 \text{ }^\circ\text{C}$. Результаты испытаний некоторых образцов приведены в таблице 2.

Результаты измерений показали, что АНМ горит неустойчиво - это так называемая низкочастотная неустойчивость [2]. Такая неустойчивость наблюдается при колебательных процессах в камере сгорания, когда давление меняется (как в нашем случае) настолько быстро, что температура поверхности горения не успевает отслеживать эти изменения. Низкочастотная неустойчивость характерна для двигателей малого калибра.

Внешними проявлениями такой неустойчивости являются прерывистое горение или гашение заряда после запуска, что и наблюдается в наших опытах.

Согласно теории горения топлив [1] следует, что для повышения устойчивости при низкочастотных колебаниях необходимо повысить рабочее давление, либо увеличивать свободный объем камеры сгорания.

В наших экспериментах образцы сгорали устойчиво при давлениях $P \geq 22 \text{ МПа}$.

С целью уменьшения пористости образцов и, как следствие, для получения стабильного послойного горения решено включить в состав полимерный продукт СУРЭЛ-9М (каучук, синтетический уретановый) и родственное по структуре АНМ низкоплавкое соединение уретан ($T_{\text{пл}}=48,5 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$).

На начальном этапе работ была проведена оценка воспламеняемости образцов с целью выявления влияния добавки флегматизатора. Работы проводились в манометрической камере со свободным объемом 70 см^3 . В качестве воспламенителя использовался дымный порох ДРП. Методом «холодного» прессования были изготовлены образцы диаметром 20 мм. Параметры инициирования (время задержки, скорость нарастания dP/dt и dT/dt) регистрировались контрольными приборами в зависимости от свойств образца. Результаты работ по оценке воспламеняемости образцов АНМ, АНМУ представлены в таблице 3.

Анализ представленных результатов показывает, что на начальном этапе, при увеличении содержания уретана уменьшается скорость горения, увеличивается время задержки воспламенения образцов и выход на стационарный (стабильный) режим горения. Использование более мощного воспламенителя позволяет минимизировать «провал» и, практически, сразу выйти на постоянную скорость горения.

Таблица 3

Характеристика образцов АНМУ (параметры инициирования)

Наименование	АНМ	АНМУ, содержащий флегматизатор, %					
		2,5	5,0	5,0	7,5	7,5	10,0
Масса, г	12,2	11,9	11,8	12,0	12,5	18,7	12,6
Усилие прессования, кг/см ²	900	900	1200	1500	1500	1500	1500
Диаметр, мм	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
Высота, мм	27,5	26,6	26,8	25,7	26,2	40,5	26,4
Плотность, г/см ³	1,40	1,41	1,40	1,49	1,50	1,46	1,50
Масса воспламенителя, г	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0
Скорость горения, см/с	140	135	95	105	100	190	110

Результаты работ по сравнительной оценке воспламеняемости состава АНМК (5 % каучука) представлены в таблице 4.

Таблица 4
Характеристика образцов АНМК

Наименование	АНМК (5 %)	
Масса, г	12	12,1
Усилие прессования, кг/см ²	1500	1500
Диаметр, мм	20,1	20,1
Высота, мм	24,9	24,8
Плотность, г/см ³	1,52	1,54
Масса воспламенителя, г	2	3
Скорость горения, см/с	-	27,5

Анализ представленных результатов показывает, что воспламеняемость АНМК хуже, чем АНМУ. Образцы воспламеняются труднее и горят более медленно.

Для исключения влияния низкочастотной неустойчивости при сжигании образцов использовался газогенератор с увеличенным свободным объемом ($V_0=140 \text{ см}^3$) камеры сгорания. Новая конструкция газогенератора повлекла изменение конструкции воспламенителя и зарядов для испытаний. Так как образцы АНМУ и АНМК стабильно воспламеняются только при достижении давления в камере более 15 МПа, то для его получения необходим воспламенитель массой 10 г. Для создания максимального начального давления (при наличии сопла) конструкция воспламенителя должна быть шаровидной формы диаметром 25 мм. Для получения достоверных результатов использовались заряды более крупных размеров ($d=25\text{мм}$, $L=45\text{-}50 \text{ мм}$), которые помещались в текстолитовый стаканчик. Текстолит играет роль бронировки по боковой и торцевой поверхностям и позволяет осуществлять инициирование зарядов независимо от соплового блока. Результаты испытаний приведены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов АНМУ и АНМК

Наименование	АНМУ, содержащий уретан, %					АНМК, %	
	5	5	7,5	7,5	10	5	5
Масса, г	30,0	29,8	35,0	35,7	35,9	15,0	28,0
Усилие прессования, кг/см ²	1500	1200	1500	1500	1500	1500	1500
Диаметр, мм	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
Высота, мм	41,6	43,1	48,3	50,1	50	19,5	36,8
Плотность, г/см ³	1,45	1,39	1,45	1,43	1,44	1,54	1,53
Масса воспламенителя, г	10,0	10,0	8,0	7,0	7,0	15,0	15,0
Сопло, мм	2,9	3,3	4,5	5,0	5,0	2,9	2,9
Скорость горения, см/с	320	350	270	250	отказ	75	65

Анализ полученных результатов показывает, что включение в состав флегматизатора положительно отразилось на баллистических характеристиках. Образцы АНМУ при содержании флегматизатора на уровне 5÷7,5 % способны стабильно воспламеняться при достижении давления 15÷20 МПа и гореть со скоростью 2,5÷3 м/с.

Использование каучука не принесло положительных результатов. Для воспламене-

ния требуется слишком большая навеска воспламенителя до 15÷20 г. Только два образца из десяти сгорели стабильно, при начальном импульсе 60÷70 МПа.

Были проведены испытания состава АНМ в качестве газогенератора динамического нагружения минеральной породы гранит, отбойка гранитных блоков.

Работа в карьерах по добычи природного камня имеет свои специфические особен-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ АММОНИЕВОЙ СОЛИ НИТРОМОЧЕВИНЫ В УСЛОВИЯХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

ности из-за опасности нарушения целостности массива.

Такие характеристики АНМ, как большой удельный газоприход, высокая скорость реакции газовой выделения, а главное – взрывобезопасность и отсутствие детонации позволяют использовать ее при добыче природных облицовочных камней.

В качестве эксперимента были проведены работы на карьере по добыче гранита месторождения «Новое», расположенного в с. Удаловка Турачакского района Республики Алтай. Месторождение сложено среднезернистыми гранитами массивной текстурой светло – серого цвета. С апреля 2004 года в карьере ведется добыча камня.

Для испытания был использован уступ гранита следующих характеристик:

- высота 1,7 м;
- ширина 3,5 м.

Уступ имел нижнюю (пастельную) трещину и разлом по правому краю (рисунок 7).



Рисунок 7. Фото 1

Опыт № 1.

Предварительно, на расстоянии 1,5 м от края, были пробурены шпур, диаметром 36 мм и глубиной 1,2 м. Было заряжено 15 шпуров. Тринадцать средних - зарядами массой 90 г. Патроны с АНМ (по одному в шпур) располагались в шахматном порядке на глубине от 50 до 110 см. Два крайних шпура были снаряжены парными зарядами по 40 г. В качестве забойки использовалась мелкая гранитная крошка.

После инициирования блок № 1 откололся ровно по плоскости бурения шпуров (рисунок 8).

Опыт № 2.

Масса зарядов и схема расположения аналогичны опыту № 1. Линия шпуров пробурена на расстоянии 2 м от края.



Рисунок 8. Фото 2

После инициирования блок № 2 отломился ровно по плоскости бурения шпуров (рисунок 9).



Рисунок 9. Фото 3

Проведенные эксперименты показали хорошие результаты по использованию АНМ при добыче природного камня. Использование методики газодинамического разрушения позволяет производить откол монолитных кусков камня заданных размеров. Осмотр уступа гранита после применения АНМ показал сохранность целостности нижележащего массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы процессы горения аммониевой соли нитромочевина и невзрывчатого газогенерирующего состава на ее основе АНМУ в условиях стендовых испытаний. Показано, что образцы АНМ и АНМУ в свободном объеме 70 см³ горят неустойчиво. При использовании газогенератора со свободным объемом 140 см³ низкочастотная неустойчивость устраняется увеличением массы воспламенителя.

2. Образцы АНМУ, при содержании флегматизатора на уровне 5÷7,5 % способны стабильно воспламеняться при достижении давления 15÷20 МПа и гореть со скоростью 2,5÷3 м/с.

3. Состав АМН был испытан с положительным эффектом на карьере по отбойке горной породы, гранита месторождения «Новое», расположенного в с. Удаловка Турачакского района Республики Алтай. В результате было получено 2 бездефектных блока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сакович Г.В., Ильясов С.Г., Казанцев И.В., Ильясов Д.С., Аверин А.А., Шатный М.В. // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4. – С.
2. Орлова Б.В., Мазинг Г.Ю. Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе. М.: Машиностроение, 1964. – С. 221- 227.

КУМУЛЯТИВНЫЙ СИНТЕЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Ф. Комаров¹, Г.В. Сакович¹, Н.И. Попок¹, В.К. Кедринский², С.А. Кинеловский², В.Т. Кузавов², С.А. Громилов³

¹ Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск

² Учреждение Российской академии наук Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения РАН (ИГиЛ СО РАН), г. Новосибирск

³ Учреждение Российской академии наук Институт неорганической химии Сибирского отделения РАН (ИНХ СО РАН), г. Новосибирск

Разработано композиционное взрывчатое вещество, в состав которого введена смесь порошков вольфрама и углерода в объемном соотношении 1:1. На зарядах с кумулятивной выемкой осуществлен синтез карбида вольфрама в кумулятивной струе. Приведены характеристики синтезированного продукта.

Ключевые слова: КВВ, кумулятивный заряд, синтез в кумулятивной струе, карбид вольфрама.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование возможностей получения новых соединений и структурно-фазовых состояний в экстремальных условиях является одной из наиболее актуальных фундаментальных проблем физики и современного материаловедения. Одним из перспективных направлений такого синтеза является использование энергии взрыва. Взрывные технологии успешно применялись для синтеза определенных материалов, например, можно вспомнить взрывной метод получения ультрадисперсных алмазов [1, 2], затем развитый в промышленное производство [3, 4], или ударноволновой синтез ряда соединений, в том числе с использованием ампул сохранения [5, 6]. Имеется ещё одно интересное направление исследований взрывных технологий, связанное с использованием кумулятивных зарядов.

Характерной особенностью кумулятивного взрыва является косое соударение, ускоренных с помощью взрыва, металлических пластин (плоский вариант) или взрывное обжатие осесимметричных металлических оболочек, являющихся в обоих вариантах облицовками кумулятивной выемки. При изготовлении облицовки кумулятивного заряда из пористого материала, в частности, из порошковых смесей, реализуемые при обжатии пористых облицовок высокие уровни давления и температуры открывают перспективы для осуществления как фазовых переходов в материале, так и для синтеза новых, в том числе неравновесных структур, отличных от исходного материала [7, 8]. При этом вместо компактной кумулятивной струи образуется разуплотненный поток частиц материала облицовки (рисунок 1), который может быть использован для нанесения покрытия на преграду-подложку [9]. Помимо этого, было обнаружено, что при взаимодействии кумуля-