

Национальный исследовательский Томский государственный университет
АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук

*К 145-летию со дня основания
Томского государственного университета*

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: АНТИТЕРРОРИЗМ, БЕЗОПАСНОСТЬ И ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

**Сборник научных трудов
XVII Международной конференции «HEMs-2022»
14–16 сентября 2022 г.
(Республика Алтай, Россия)**

Томск
Издательство Томского государственного университета
2022

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ КАРБИДОВОЛЬФРАМОВОГО СПЛАВА СО СТАЛЬНЫМИ ПРЕГРАДАМИ

Ищенко А.Н.¹, Буркин В.В.¹, Белов Н.Н.², Дьячковский А.С.¹, Саммель А.Ю.¹,
Скосырский А.Б.¹, Степанов Е.Ю.¹, Югов Н.Т.³

¹ Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Национального исследовательского Томского государственного университета, Томск

² Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск

³ Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск
E-mail: anton_sammel@mail.ru

Аннотация. В данной работе изготовленные методом высокотемпературного спекания образцы ударников на основе карбидовольфрамового сплава с плоской и конической головной частью сравнивались с образцами ударников из сплава ВНЖ-90 в условия высокоскоростного взаимодействия со стальной преградой. Испытания проводились на баллистической установке калибра 30 мм. Диапазон скоростей взаимодействия со стальной преградой толщиной 45 мм был выбран 1200–1300 м/с. Проведено сравнение глубин образовавшихся кратеров от образцов из сплава ВНЖ-90 и образцов на основе карбидовольфрамового сплава. С применением математической модели проведены расчеты высокоскоростного взаимодействия данных образцов со стальными преградами в диапазоне скоростей 1200–1300 м/с.

Введение. Разработка материалов с более совершенным комплексом физико-механических и функциональных свойств является актуальным и практически важным направлением исследований, направленным на решение задачи повышения проникающей способности кинетических ударников в различные преграды, обладающие максимальными прочностными свойствами. Сочетание оптимального механизма деформационного поведения, физико-механических и функциональных свойств обеспечит повышенные бронебаллистические характеристики кинетических ударников, изготовленных из данного класса материалов. Исследования композиционных материалов на основе карбида вольфрама для применения в качестве кинетических ударников с повышенными бронебойными характеристиками, имеющими хорошие перспективные характеристики, проводились в работах [1–4].

Экспериментальная часть. Методом высокотемпературного спекания на основе ВНЖК была изготовлена партия образцов карбидовольфрамового сплава ВНЖК+75%ВК8 с плоской [5] и конической головной частью (рис. 1). Исследуемые образцы из материала ВНЖК+75%ВК8 сравнивались с образцом из сплава ВНЖ-90. Все они имели одинаковый диаметр и одинаковую массу. Плотность образцов из материала ВНЖК+75%ВК8 составляла 11,5–12 г/см³.





Рис. 1. Образцы карбидовольфрамового сплава с плоской (а) и конической (б) головной частью

Исследования проникающей способности материалов ВНЖК+75%ВК8 в сравнении с базовым сплавом из ВНЖ-90 проводились на баллистической установке калибром 30 мм [6]. Исследуемые образцы взаимодействовали со стальной преградой толщиной 45 мм в диапазоне скоростей 1200–1300 м/с.

Результаты. В таблице приведены результаты проведенных исследований.

Результаты исследования

№	Материал ударника	Форма головной части	Скорость взаимодействия V , м/с	Глубина кратера h , мм	Средняя глубина кратера h , мм	Относительное увеличение глубины Δh , %
1	ВНЖ-90 [5]		1 283	23,80	–	–
2	ВНЖК+75%ВК8 [5]		1 260	27,68	27,11	13,9
3	ВНЖК+75%ВК8 [5]		1 273	25,54		
4	ВНЖК+75%ВК8 [5]		1 278	28,11		
5	ВНЖ-90		1 253	27,33	–	–
6	ВНЖК+75%ВК8		1 286	30,28	31,74	16,2
7	ВНЖК+75%ВК8		1 291	29,70		
8	ВНЖК+75%ВК8		1 262	35,24		

В преградах после взаимодействия с исследуемыми образцами образовывался кратер. Сравнение экспериментальных результатов проводилось по среднему значению полученных замеров кратеров. Из данных, представленных в работе [5] и показанных в таблице, превышение глубины проникания от образцов с плоской головной частью из сплава ВНЖК+75%ВК8 относительно ВНЖ-90 составило 13,9%. Это говорит о том, что механизм взаимодействия с преградами у исследуемых образцов из сплава ВНЖК+75%ВК8 эффективнее, чем у ВНЖ-90. Изменение головной части исследуемых образцов из сплава ВНЖК+75%ВК8 и сплава ВНЖ-90 показало относительное увеличение глубины проникания на 16,2%. Исходя из полученных результатов, можно сделать предположение, что при изменении головной части ударников из сплава ВНЖК+75%ВК8 с плоской на коническую происходит увеличение глубины кратера относительно образцов из сплава ВНЖ-90 на 2,3%.

Полученные экспериментальные результаты также применялись для верификации математической модели взаимодействия исследуемых образцов из сплава ВНЖК+75%ВК8 и сплава ВНЖ-90. Расхождение расчетных результатов с экспериментальными составило порядка 2%.

Заключение. Проведено сравнительное экспериментальное исследование высокоскоростного взаимодействия образцов из карбидовольфрамового сплава ВНЖК+75%ВК8 и сплава ВНЖ-90 со стальной преградой при скоростях в диапазоне 1200–1300 м/с. Предварительный сравнительный анализ показал, что прирост проникающей способности образцов из данного материала относительно образцов из сплава ВНЖ-90 по средним значениям составил 13,9% для плоских и 16,2% для конусных головных частей. На основании полученных данных сделан предварительный вывод о том, что изменение головной части ударников из сплава ВНЖК+75%ВК8 с плоской на коническую приводит к увеличению глубины кратера относительно образцов из сплава ВНЖ-90 на 2,3%.

Полученные экспериментальные результаты позволили провести уточнение математической модели для высокоскоростного взаимодействия со стальной преградой ударников из сплава ВНЖК+75%ВК8 с конической головной частью.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

Литература

1. Савиных А.С., Mandel K., Разоренов С.В., Krüger L. Влияние содержания кобальта на прочностные свойства керамики на основе карбида вольфрама при динамических нагрузках // Журнал технической физики. 2018. Т. 88, вып. 3. С. 368–373.
2. Поварова К.Б., Алымов М.И., Гаврилин О.С., Дроздов А.А., Евстратов Е.В., Качнов А.И., Салько А.Е. Исследование влияния режимов спекания нанопорошков тяжелых сплавов системы W-Ni-Fe-Co на структуру и плотность компактных образцов // Металлы. 2007. № 6. С. 65–72.
3. Ищенко А.Н., Акиншин Р.Н., Афанасьева С.А., Белов Н.Н., Борисенко И.Л., Буркин В.В., Табаченко А.Н., Хабибуллин М.В., Югов Н.Т. Экспериментально-теоретическое исследование динамического нагружения пористого сплава на основе вольфрама с упрочняющим наполнителем // Известия высших учебных заведений. Физика. 2018. Т. 61, № 6 (726). С. 49–55.
4. Ищенко А.Н., Афанасьева С.А., Белов Н.Н., Буркин В.В., Галсанов С.В., Касимов В.З., Кудрявцев В.А., Липатникова Я.Д., Марцунова Л.С., Рогаев К.С., Саммель А.Ю., Скосырский А.Б., Югов Н.Т. Особенности разрушения ударников из пористого сплава на основе вольфрама с упрочняющим наполнителем при взаимодействии с бронепреградами // Журнал технической физики. 2020. Т. 90, № 3. С. 434–440.
5. Ищенко А.Н., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Марцунова Л.С., Рогаев К.С., Саммель А.Ю., Сидоров А.Д., Скосырский А.Б., Степанов Е.Ю., Чупашев А.В. Исследование высокоскоростного взаимодействия образцов из карбидовольфрамового сплава с многокомпонентной связкой со стальной преградой // Письма в Журнал технической физики. 2021. Т. 47, № 14. С. 11–13.
6. Бураков В.А., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Ищенко А.Н., Корольков Л.В., Майстренко И.В., Рогаев К.С., Саммель А.Ю., Сидоров А.Д., Степанов Е.Ю., Фуфачев В.М., Чупашев А.В. Баллистический ударный стенд. Патент на изобретение № 180958 от 02 июля 2018 г.