

УДК 539.3

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА ТИТАНА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРА

© 2011 г.

*Н.Т. Югов, И.Н. Архипов*

Томский государственный архитектурно-строительный университет

n.t.yugov@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Методом компьютерного моделирования исследованы защитные свойства металлокерамики  $TiB_2+V_4C$  комбинированного строения в условиях высокоскоростного удара и особенности проникания стержней из металлокерамики  $TiB_2+Fe$  в многослойные пространственно разнесенные преграды при наклонном соударении.

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, высокоскоростной удар, металлокерамика, разрушение, детонация, взрывчатое вещество.

При высокоскоростных ударных нагрузках однородные металлические защитные материалы достаточно легко разрушаются и не всегда эффективны. В качестве защитных материалов могут быть использованы керамические и металлокерамические материалы на основе тугоплавких соединений, а также материалы комбинированного строения (слоевые и градиентные). Перспективным направлением повышения физико-механических характеристик керамик, функционирующих в условиях высоких давлений и температур, является введение в их состав эффективной металлической связующей, например методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с приложением давления к продукту горения. Экспериментальные исследования поведения материалов комбинированного строения на основе диборида титана показали их высокие защитные свойства в условиях высокоскоростного удара [1].

В [2] предложена математическая модель, позволяющая в рамках механики сплошной среды рассчитывать при ударно-волновом нагружении напряженно-деформированное состояние и разрушение как в пластичных, так и хрупких материалах. Модель реализована в пакете вычислительных программ «РАНЕТ-3» для решения задач удара и взрыва модифицированным методом конечных элементов. Пакет программ «РАНЕТ-3» использован для исследования поведения металлокерамических материалов на основе диборида титана в качестве как элементов защитных конструкций, так и поражающих элементов.

Защитные свойства металлокерамики исследо-

вались при решении следующей задачи. Необходимо разработать защитную конструкцию, способную противостоять удару стального элемента (СЭ) сферической формы массой 2 г в диапазоне скоростей до 2 км/с. Защитная конструкция может состоять из различных материалов, но непременно должна содержать стальной лист толщиной 4 мм и по удельному весу не должна значительно превышать эталонную преграду, состоящую из 10 мм дюралюминиевого слоя и 4 мм стальной подложки.

На рис. 1а приведена картина пробития СЭ эталонной преграды при скорости удара 2 км/с. Масса деформированного ударника после пробития составляет 1 г, скорость – 407 м/с.

Замена алюминиевого слоя слоем из металлокерамики предохраняет защитную конструкцию от пробития при данной скорости удара СЭ (рис. 1б). Остаточная масса ударника на момент его останова ( $t = 45$  мкс) 0.8 г.

Проведено исследование проникания стержней из металлокерамики  $TiB_2+Fe$  в многослойные пространственно разнесенные преграды. Помещенный на стальное основание заряд взрывчатого вещества (ВВ) РВХ-9404 толщиной 30 мм защищен с лицевой стороны 3-миллиметровым дюралюминиевым листом. Пространство между ВВ и дюралюминиевым листом заполнено слоем пенопласта толщиной 20 мм. На расстоянии 50 мм от лицевой поверхности дюралюминиевого листа расположен 10-миллиметровый стальной экран, за которым на том же расстоянии находится экран, состоящий из 10-миллиметрового слоя асботекстолита и дюралюминиевой подложки

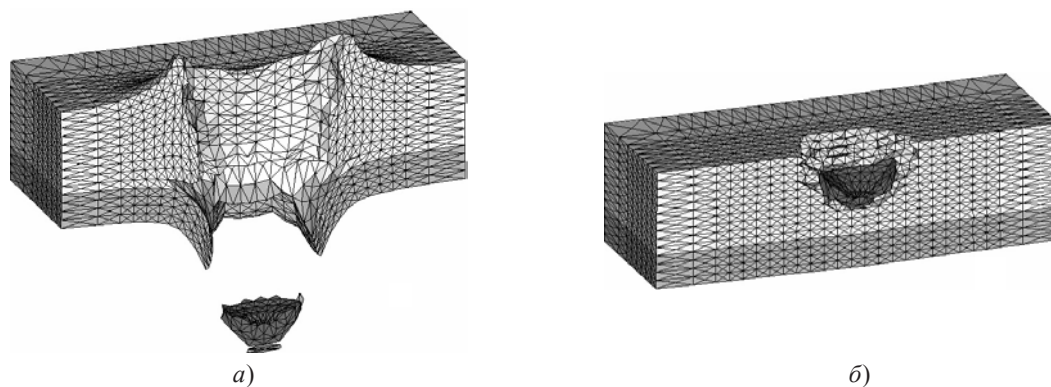


Рис. 1

толщиной 3 мм. Экраны расположены под некоторыми углами  $\alpha_i$  к оси стержня ( $\alpha_i$  – угол между осью стержня и лицевой поверхностью  $i$ -го экрана). Стержень представляет собой цилиндрическое тело с конической головной частью. Диаметр стержня  $d_0 = 4.5$  мм, длина  $L_0 = 105$  мм, удлинение  $L_0/d_0 = 23.33$ . Расчет проведен для скорости удара  $V_0 = 2$  км/с и углах подхода стержня к экранам:  $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$ . Рассматривались стержни из стали и металлокерамики  $\text{TiB}_2 + \text{Fe}$  (массовые доли  $m_1 = m_2 = 0.5$ ).

Для оценки инициирующей способности ВВ использовался критерий инициирования детонации (при  $p > p_{\min}$ ) в виде [3]:

$$\int_{t_0}^t p^2 dt = K,$$

где  $K$  – константа материала,  $p$  – давление в ВВ,  $p_{\min}$  – минимальное давление, при котором происходит инициирование детонации.

цирование ВВ. На момент инициирования остатки ударников из стали и металлокерамики обладают приблизительно одинаковой кинетической энергией.

Металлокерамический стержень с используемыми в расчетах прочностными характеристиками производит на процесс инициирования детонации в ВВ такое же воздействие, как и стальной, несмотря на то, что его масса на 25% меньше и, следовательно, он обладает меньшей на момент удара кинетической энергией.

Металлокерамический стержень с используемыми в расчетах прочностными характеристиками производит на процесс инициирования детонации в ВВ такое же воздействие, как и стальной, несмотря на то, что его масса на 25% меньше и, следовательно, он обладает меньшей на момент удара кинетической энергией.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №10-01-00573.*

Таблица

Материал	Параметры после 1-й преграды				Параметры после 2-й преграды				Параметры на момент детонации ВВ			
	$V/V_0$	$L/L_0$	$m/m_0$	$\lambda_1$	$V/V_0$	$L/L_0$	$m/m_0$	$\lambda_1$	$V/V_0$	$L/L_0$	$m/m_0$	$\lambda_1$
Сталь, $m_0 = 12.4$ г	0.94	0.73	0.85	0.752	0.72	0.20	0.31	0.160	0.59	0.13	0.25	0.088
Металлокерамика,	0.93	0.90	0.96	0.602	0.55	0.49	0.59	0.129	0.54	0.44	0.52	0.093

Результаты расчетов представлены в таблице и на рис. 2, на котором приведены картины ударного взаимодействия остатков стержней из металлокерамики (рис. 2а) и стали (рис. 2б) с основной защитной конструкцией.

В таблице параметр 1 означает отношение кинетической энергии стержней в запреградном пространстве к начальной кинетической энергии стального стержня

В обоих вариантах расчета произошло ини-

#### Список литературы

1. Белов Н.Н. и др. // Механика композиционных материалов и конструкций. 2005. Т. 11 (41). С. 113–126.
2. Белов Н.Н., Югов Н.Т., Копаница Д.Г., Югов А.А. Динамика высокоскоростного удара и сопутствующие физические явления. Northampton; Томск: STT, 2005. 356 с.
3. Пилчер Д. Детонация и взрывчатые вещества. М: Мир, 1981. С. 306–322.

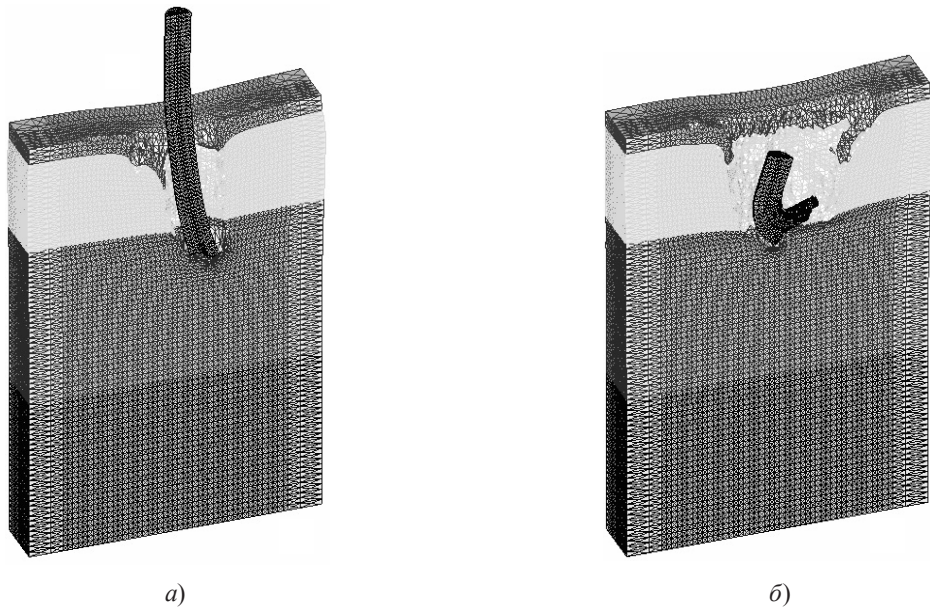


Рис. 2

**COMPUTER SIMULATION OF THE BEHAVIOR OF CERMET MATERIALS BASED ON TITANIUM  
DIBORIDE IN A HIGH-VELOCITY IMPACT**

*N.T. Yugov, I.N. Arkhipov*

Computer simulation is used to investigate the protective properties of metal-ceramic  $\text{TiB}_2+\text{B}_4\text{C}$  composite structures in high-speed impact, as well as the penetration characteristics of rods of cermet  $\text{TiB}_2+\text{Fe}$  in the layered space-separated obstacles for oblique impact.

*Keywords:* computer simulation, high speed impact, cermet, destruction, detonation, explosive.