

УДК 539.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПАКЕТОВ ПЛЕТЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТОК
ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ***

© 2014 г. **А.Н. Горохов¹, Д.А. Казаков¹, А.В. Кочетков¹,
И.А. Модин¹, В.И. Романов²**

¹*НИИ механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского*

²*Российский федеральный ядерный центр –*

Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров

kochetkov@mech.unn.ru

Поступила в редакцию 28.05.2014

Приведены результаты испытаний противоосколочных тканых металлических сеток. Получены кривые деформирования пакетов плетеных металлических сеток при испытаниях на растяжение и сжатие вплоть до разрушения образцов.

Ключевые слова: взрывные камеры, тканая металлическая сетка, диаграмма деформирования.

Введение

Для защиты внутренней полости взрывных камер от осколочного повреждения в настоящее время используются противоосколочные тканые металлические сетки с различным плетением и соотношением между диаметром проволоки и размерами ячеек плетения. Кроме эффективного торможения высокоскоростных осколков такой пакет сетки за счет сильно развитой поверхности может отбирать значительную долю энергии горячих продуктов взрыва (ПВ), нагреваясь на десятки градусов. Это приводит к уменьшению давления во взрывной камере, в том числе и остаточного. В ряде работ [1–7] даются оценки эффективности подобных многослойных экранов с точки зрения снижения газодинамических параметров проходящих ударных волн. Так как пакет сеток формируется путем наложения слоев друг на друга, пакет можно считать высокопористой деформируемой средой, обладающей ортотропными свойствами. При практическом использовании таких сеток [8, 9] пакет испытывает сжатие по нормали к слоям сеток и растяжение вдоль линий сеток одновременно, поэтому при исследовании деформирования таких пакетов необходимо знать соответствующие деформационные свойства. В настоящей статье приведены результаты экспериментальных испытаний образцов пакетов сеток на сжатие по нормали к пакету и на растяжение в плоскости пакета.

* Выполнено при частичном финансировании РФФИ (проекты № 13-08-00219а, 14-08-00197а), Программой государственной поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ-593.2014.8) и грантом Минобрнауки (соглашение от 27.08.2013. №02.В.49.21.0003 между Минобрнауки и ННГУ).

1. Испытания пакетов на сжатие по нормали к слоям сеток

Образец для испытаний представляет собой пакет из 10 слоев сетки. Каждый слой сетки – это сплетение взаимно перпендикулярных проволок диаметром $d = 0,5$ мм с ячейкой 2×2 мм. Образцы для испытаний на сжатие имеют размеры в плане $l \times b = 60 \times 60$ мм (рис. 1). По ширине и длине образца уместается 23 проволоки. Полная толщина образца составляет $h = 13,9$ мм. Испытания образцов на сжатие проводились на сервогидравлической испытательной машине МИУ-500К с предельным усилием на сжатие, равным 500 кН. Машина обладает программным управлением режимами нагружения, обеспечивающим автоматическое построение диаграмм деформирования и выдачу полученной информации в цифровом виде. Процесс деформирования образца регистрируется с помощью высокоточного датчика 7WA, встроенного в установку и связанного с подвижной траверсой машины, и штатного динамометра с погрешностью измерения 1% от измеряемой величины. Максимальное усилие на сжатие достигало 400 кН. Наблюдались большие деформации образцов. По результатам экспериментов построены диаграммы деформирования для истинной деформации $\epsilon_{ист} = \ln(l/l_0)$ и деформации Грина $\epsilon_{гр} = l/l_0 - 1$, где l – текущая толщина пакета, l_0 – начальная толщина пакета сеток. Обработанные данные приведены на рис. 2, где кривая 1 соответствует истинной деформации, кривая 2 – деформации Грина.

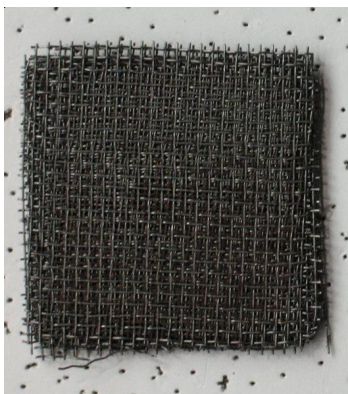


Рис. 1

По результатам экспериментов построены диаграммы деформирования для истинной деформации $\epsilon_{ист} = \ln(l/l_0)$ и деформации Грина $\epsilon_{гр} = l/l_0 - 1$, где l – текущая толщина пакета, l_0 – начальная толщина пакета сеток. Обработанные данные приведены на рис. 2, где кривая 1 соответствует истинной деформации, кривая 2 – деформации Грина.

На рис. 3 приведены кривые деформирования пакета сеток для деформации Грина, полученные авторами настоящей статьи (кривая 1) и в статье [9] (кривая 2, кривые 3 – линии разгрузки).

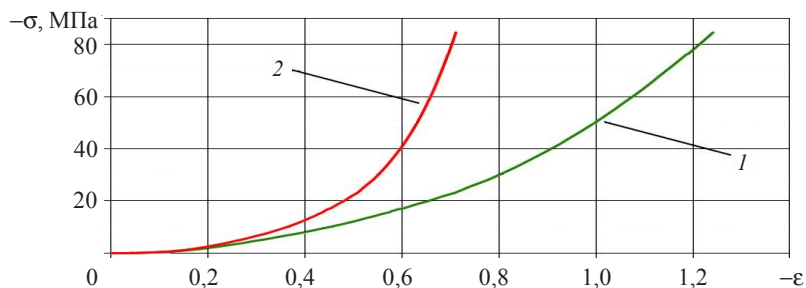


Рис. 2

На рис. 3 приведены кривые деформирования пакета сеток для деформации Грина, полученные авторами настоящей статьи (кривая 1) и в статье [9] (кривая 2, кривые 3 – линии разгрузки).

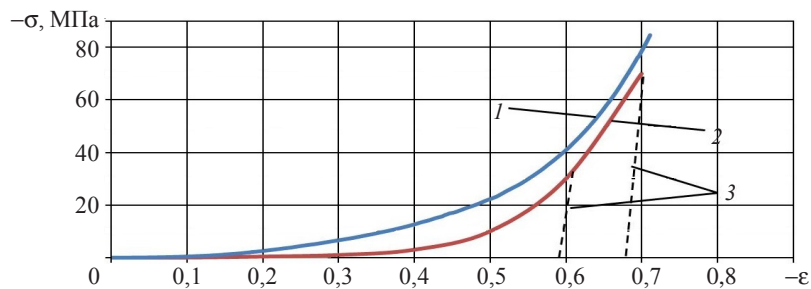


Рис. 3

Видно, что полученная в настоящей статье зависимость качественно близка к кривой, полученной другими авторами.

2. Испытания пакетов сеток на растяжение в плоскости слоев

Испытания на растяжение проводились на сервогидравлической установке Amsler HA 100, снабженной гидравлическими захватами, с предельной допускаемой нагрузкой ± 100 кН (рис. 4). Управление и регистрация процесса нагружения осуществлялись с помощью программного обеспечения «TestXpert II».

Испытывались образцы пакета противоосколочной сетки, собранные из 10 слоев сетки, шириной 60 мм и длиной $l = (240 + \Delta)$ мм, где Δ – расстояние между торцами захватов, определяющее условную «рабочую» часть образца. Начальная толщина образца равна 13,9 мм, $\Delta = 2$ мм. Участки образцов вне рабочей части предварительно зажимаются между массивными пластинами с помощью болтов (рис. 5) с усилиями $P_3 = 37,5; 115; 200$ и 300 кН. После этого полученная конструкция устанавливается в захваты машины. Усилие зажима предварительно сжатых образцов захватами устанавливалось равным 110 кН.



Рис. 4



Рис. 5

В таблице 1 приведены толщины экспериментального пакета, полученные при предварительном обжатии различными усилиями.

Таблица 1

№ п/п	1	2	3	4
Сила сжатия, кН	300	200	115	37,5
Толщина пакета, мм	4,103	4,963	6,092	8,683

Максимальное усилие на растяжение достигало 15 кН. Как и при сжатии, наблюдались большие деформации образцов. В ходе испытаний образцы нагружались вплоть до разрушения. Типичный вид разрушенного образца изображен на рис. 6.

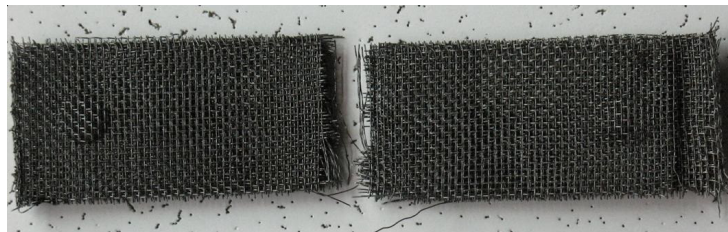


Рис. 6

В ходе испытаний построены диаграммы деформирования для истинной деформации (рис. 7) и деформации Грина (рис. 8). Сплошными линиями показаны экспериментальные кривые «напряжение – деформация», цифры соответствуют следующим усилиям предварительного сжатия: 1 – $P_3 = 300$ кН, 2 – $P_3 = 200$ кН, 3 – $P_3 = 115$ кН, 4 – $P_3 = 37,5$ кН.

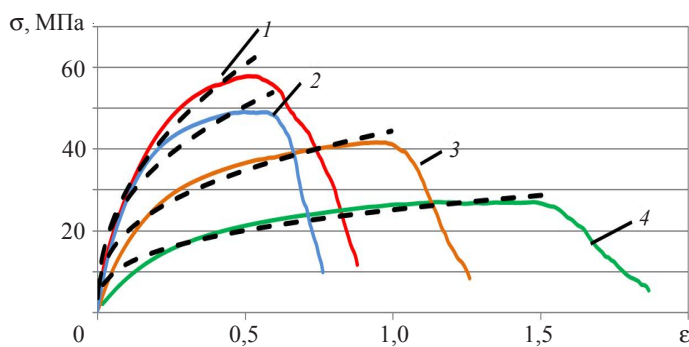


Рис. 7

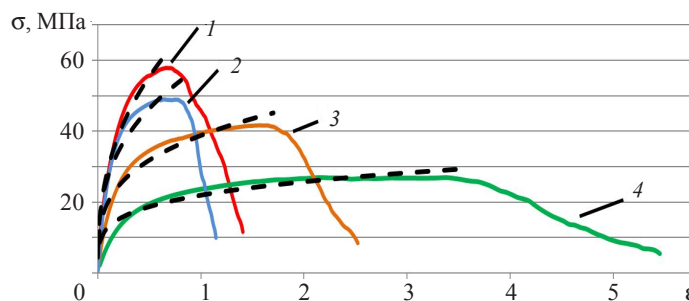


Рис. 8

Анализ диаграмм деформирования образцов из пакета противоосколочной сетки с различной степенью предварительного сжатия показал:

1) разброс максимального усилия сжатия и растяжения, предшествующего разрушению, во всех опытах не превышает 6%;

2) сильное влияние на характер диаграммы деформирования оказывает предварительное поперечное сжатие пакета противоосколочных сеток. Это связано, главным образом, со взаимодействием слоев пакета сеток. Силы сопротивления при растяжении возрастают при увеличении усилия предварительного сжатия образцов. При визуальном рассмотрении образцов после сжатия наблюдается локально пластическая деформация в окрестности зоны соприкосновения отдельных проволок.

Остаточное перемещение образца при растяжении, развивающееся в его рабо-

чей части, меняется от ~ 11 мм при усилии обжатия 37,5 кН до ~ 5 мм при усилии обжатия 115 кН. Предварительное обжатие образцов усилиями 200 кН и 300 кН и последующее растяжение с усилием обжатия в захватах 110 кН уменьшает остаточное перемещение растяжения перед полным разрушением до ~ 2,5 мм.

Результаты испытаний в виде зависимостей напряжений от деформаций (восходящая ветвь) в различных мерах деформации представлены в виде аппроксимирующей степенной функции $\sigma = A\varepsilon^n$. Значения коэффициентов A и n приведены в таблице 2 для истинной деформации и в таблице 3 для деформации Грина. Аппроксимирующие зависимости изображены на рис. 7, 8 штриховыми линиями.

Таблица 2

Усилие сжатия, кН	37,5	115	200	300
A , МПа	25,209	44,479	65,546	82,24
n	0,3247	0,3534	0,3742	0,435

Таблица 3

Усилие сжатия, кН	37,5	115	200	300
A , МПа	21,964	38,764	58,488	72,499
n	0,2293	0,2848	0,3309	0,3878

Заключение

В результате экспериментальных исследований были получены кривые деформирования пакетов плетеных металлических сеток при испытаниях на сжатие и при испытаниях на растяжение вплоть до разрушения образцов. Сжатие регулярно уложенных в образец сеток проводилось по нормали к слоям сеток, а растяжение – в плоскости пакета. Построены аппроксимации кривых деформирования до начала разрушения образцов для использования в численных расчетах.

Список литературы

1. Альтишулер Л.В., Кругликов Б.С. Затухание сильных ударных волн в двухфазных и гетерогенных средах // ПМТФ. 1984. №5. С. 24–29.
2. Кругликов Б.С., Кутушев А.Г. Ослабление ударных волн экранирующими решетками // ФГВ. 1998. Т. 24, №1. С. 115–118.
3. Мельцас В.Ю., Портнягина Г.Ф., Соловьев В.П. Численное моделирование прохождения ударных волн через экранирующие решетки // ВАНТ. 1993. Вып. 3. С. 26–31.
4. Глазова Е.Г., Кочетков А.В. Моделирование взаимодействия ударной волны со слоем газопроницаемой гранулированной деформируемой среды // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т, 2009. Вып. 71. С. 113–121.
5. Численная модель деформирования противоосколочной сетки при взрывном нагружении / А.И. Абакумов, С.Н. Заикин, В.Ю. Мельцас, П.Р. Низовцев, Г.Ф. Портнягина, В.Н. Русак, В.П. Соловьев // Математическое моделирование физических процессов: Тр. ВНИИЭФ. 2006. №10. С. 16–30.
6. Кондауров В.И. Теоретические основы реологии геоматериалов. М.: Наука, 1990. 207 с.
7. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980. 512 с.
8. Глазова Е.Г., Кочетков А.В. Численное моделирование взаимодействия деформируемых газопроницаемых пакетов сеток с ударными волнами // ПМТФ. 2012. №3. С. 11–19.
9. Моделирование взаимодействия ударных волн с деформируемыми газопроницаемыми преградами / М.Х. Абузьяров, Е.Г. Глазова, А.В. Кочетков, С.В. Крылов, В.И. Романов, М.А. Сырунин // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т, 2010. Вып. 72. С. 120–129.

**INVESTIGATING DEFORMATIONAL PROPERTIES
OF PACKAGES OF WOVEN METALLIC GRIDS LOADED
IN QUASISTATIC COMPRESSION AND TENSION**

A.N. Gorokhov, D.A. Kazakov, A.V. Kochetkov, I.A. Modin, V.I. Romanov

The results of testing anti-fragment woven metallic grids are presented. Deformation curves for packages of metallic woven grids loaded in tension and compression up to the failure of the specimens are obtained.

Keywords: explosion chambers, woven metallic grids, deformation curve.