

УДК 533.6 + 623.5

ОДНОСТУПЕНЧАТАЯ ГАЗОВАЯ ПУШКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ ДО 40 ГПа

© 2013 г. А. В. Павленко, С. И. Балабин, О. Е. Козелков, Д. Н. Казаков

РФЯЦ-ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина

Россия, 456770, Снежинск Челябинской области, ул. Васильева, 13

E-mail: avpavlenko@vniitf.ru

Поступила в редакцию 25.07.2012 г.

Описана одноступенчатая газовая пушка калибром 44 мм. При использовании легких газов она обеспечивает предельную скорость соударения 1.6 км/с. Пушка используется для исследования динамических свойств конструкционных материалов, кинетики и механизмов их разрушения. Диаметр ударников и образцов 34 мм, угловой перекокс поверхности ударника относительно поверхности мишени от 0.4 до 2 мрад. Приведено краткое описание основных узлов и измерительных методик газовой пушки.

DOI: 10.7868/S0032816213040101

Разработка моделей упруговязкопластического деформирования конструкционных материалов опирается на результаты экспериментальных исследований реакции материалов на ударно-волновое или взрывное воздействие [1]. Без таких сведений невозможна разработка математических моделей [2], адекватно описывающих работу сложных динамических устройств. Широко распространен метод получения экспериментальных данных при высокоскоростной деформации с использованием взрывных устройств [3–5]. Для диагностики здесь часто используют электроконтактные, пьезоэлектрические или лазерно-интерферометрические методы [6–8]. Однако высокая интенсивность нагружения, реализующаяся при использовании взрывных устройств, не позволяет детально исследовать область давлений, при которых происходит переход от упругого к пластическому деформированию конструкционных материалов. Ударные волны такой амплитуды, например, в области давлений от 1 до 5 ГПа легко формировать на одноступенчатых пушках [9, 10].

Для решения задач, связанных с изучением динамических свойств конструкционных материалов в широком диапазоне продольных напряжений, в РФЯЦ-ВНИИТФ разработана и с 2008 г. эксплуатируется одноступенчатая легкогазовая пушка калибром 44 мм, позволяющая получать экспериментальные данные в диапазоне скоростей соударения до 1620 м/с. Для сравнения, описанная в работе [10] одноступенчатая пушка калибром 16 мм с вакуумируемой камерой и возможностью нагрева образцов до температуры 1300°C позволяет обеспечивать разгон снаряда до 300 м/с.

Достоинства одноступенчатой пушки следующие:

- простота управления скоростью снаряда и, следовательно, скоростью соударения позволяет детально исследовать область перехода от упругого к пластическому деформированию и кинетику зарождения откольных разрушений в материалах;
- возможность использования ударников, изготовленных из различных материалов с заранее заданными размерами (диаметром и толщиной), позволяет управлять амплитудой, формой и длительностью ударно-волнового воздействия;
- в процессе разгона сохраняется состояние ударника (целостность, температура, качество поверхности и т.п.), следовательно, оно известно с высокой точностью;
- температуру исследуемого образца можно варьировать в широких пределах, что необходимо, например, при детальном исследовании полиморфных превращений в образце;
- в экспериментах на пушках легко реализуются условия однородного и одномерного ударно-волнового течения, т.е. условия одноосно-напряженного и одноосно-деформированного состояния, а скорость соударения контролируется с точностью лучше 1%.

Схема пушки представлена на рис. 1. Пушка состоит из газового ускорителя с блоком мембран, ствола калибром 44 мм и длиной 5 м, измерительной камеры с мишенным узлом и устройства торможения. Рабочие газы подаются в отсек высокого давления из баллонов или от компрессора ГК1000. Ствол и измерительная камера откачиваются до форвакуума (10^{-2} Торр) с помощью

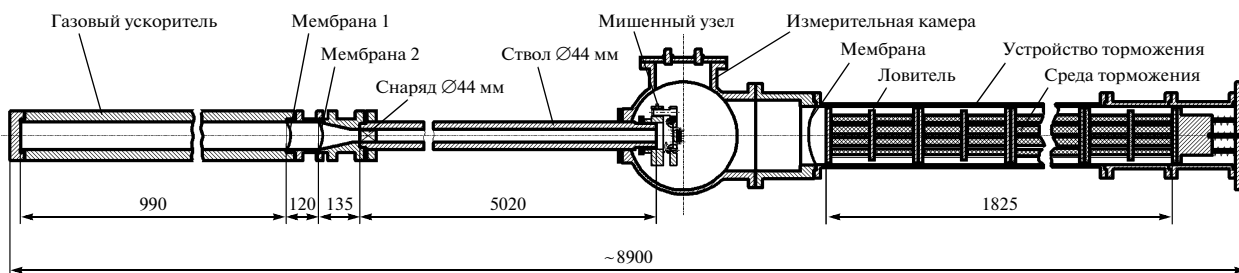


Рис. 1. Схема одноступенчатой легкогазовой пушки.

насосов НВЗ. Управление работой узлов пушки осуществляется дистанционно с пульта управления. Максимальное рабочее давление в газовом ускорителе, обеспечиваемое компрессором ГК1000, при работе со сжатым гелием составляет 450 атм, что позволяет разгонять снаряды с ударниками до скорости 1.6 км/с [11]. Нагрев образцов обеспечивается резистивным нагревателем, охлаждение до температуры -160°C осуществляется жидким азотом.

Основные технические характеристики легкогазовой пушки: диаметр образцов и ударников до 34 мм; диапазон скоростей снаряда с ударником от 80 до 1620 м/с; диапазон амплитуд нагружающих импульсов 1–40 ГПа; скорость деформирования образцов 10^{-3} – 10^{-6} с $^{-1}$; контроль скорости соударения с точностью не хуже 0.8%; характерные значения неплоскостности поверхностей ударника и образца 0.4–2 мрад; длина газовой пушки в сборе ~9 м.

Газовый ускоритель состоит из отсека высокого давления объемом 6 л и двухмембранного блока объемом 0.6 л. Пространство между мембранами

заполняется газом до давления, равного половине рабочего давления. Использование двухмембранного блока позволяет задавать давление раскрытия мембраны 1, которое и обеспечивает ускорение снаряда. Внутренний диаметр отсека высокого давления 86 мм, наружный – 160 мм.

Снаряд изготавливается из алюминиевого или магниевых сплава. Разработаны конструкции для работы при давлениях до 150, 300 и 450 атм. Масса снаряда может меняться от 50 до 180 г. Передний торец снаряда имеет углубление для установки ударника. Отклонение от оси снаряда нормали посадочной плоскости для установки ударника не превышает 0.1 мрад.

Ствол пушки длиной 5 м выточен из стали 40ХГМА и частично заглублен внутрь измерительной камеры. Уплотнение между камерой и стволом обеспечивается с помощью стальной втулки и уплотнительной прокладки, что позволяет вакуумировать отсеки пушки. Внутренний диаметр ствола равен 44 ± 0.05 мм, наружный – 90 мм.

Образец закрепляется на мишенном узле в измерительной камере, где проводится диагностика процесса соударения с контролем состояния образца.

Мишенный узел обеспечивает точность установки образца в плоскости, перпендикулярной оси ствола, ~ 0.1 мрад. Он также служит для крепления электроконтактных датчиков и держателей оптических волокон, обеспечивающих зондирование свободной поверхности образцов лазерными интерферометрами VISAR и PDV. Анализ показаний датчиков ударно-волнового воздействия и профиля скорости свободной поверхности образцов позволяет получить информацию о динамических свойствах материалов.

Устройство торможения отделено от измерительной камеры алюминиевой или лавсановой мембраной, которую снаряд и образец легко пробивают. В устройстве размещен ловитель, заполняемый технической ватой и ветошью, что позволяет сохранять образцы для последующего металлографического анализа.

На рис. 2 приведены зависимости скорости снаряда с ударником на дульном срезе ствола (пе-

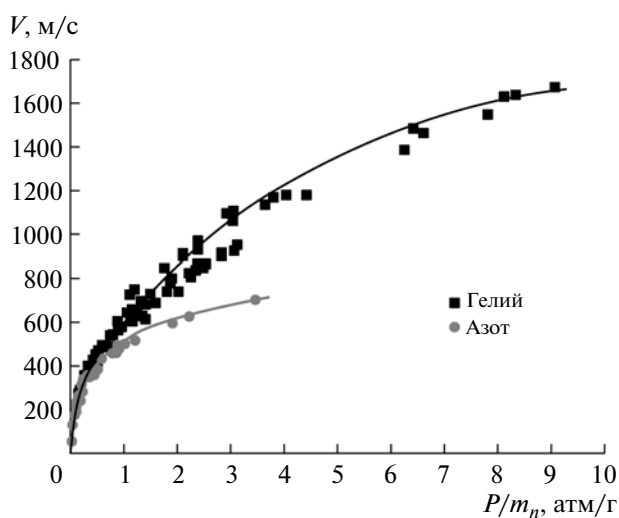


Рис. 2. Зависимости скорости поршня от давления рабочего газа P и массы поршня m_p , полученные в экспериментах со сжатым гелием и азотом.

ред соударением с образцом) от давления рабочего газа и массы снаряда, построенные по результатам экспериментов со сжатым гелием и азотом.

При работе с гелием скорость соударения варьируется от 0.2 до 1.6 км/с. Некоторые результаты проведенных нами исследований откольной прочности магниевого сплава МА14Т1 в этом диапазоне скоростей можно найти в [11]. При работе со сжатым азотом достижимые скорости соударения составляют от 80 до 650 м/с.

Описанная одноступенчатая пушка эффективно используется при проведении экспериментальных исследований упруговязкопластического деформирования и откольного разрушения металлов, а также структурных изменений в сохраненных образцах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аврорин Е.Н., Водолага Б.К., Симоненко В.А., Фортон В.Е. // УФН. 1993. Т. 163. № 5. С. 1.
2. Петровцев А.В., Коваленко Г.В., Задорожный Г.А. // Тез. докл. Забабахинских научных чтений: сб. материалов VII Международной конференции. Снежинск, 2003. С. 183; <http://www.vniitf.ru/rig/konfer/7zst/reports/s5/5-45.pdf>
3. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортон В.Е. Экспериментальные профили ударных волн в конденсированных средах. М.: Физматлит, 2008.
4. Жерноклетов М.В., Зубарев В.Н., Трунин Р.Ф., Фортон В.Е. Экспериментальные данные по ударной сжимаемости и адиабатическому расширению конденсированных веществ при высоких плотностях энергии. Черноголовка: Изд-во ИХФЧ, 1996.
5. Козлов Е.А., Бричиков С.А., Боярников Д.С. и др. // ФММ. 2011. Т. 112. № 4. С. 412.
6. Андрианов В.П., Бандуркин К.В., Григорьев С.А. и др. // ПТЭ. 2010. № 6. С. 78.
7. Strand O., Goosman D., Martinez C., Whitworth T. // Rev. Sci. Instrum. 2006. V. 77. Issue 8. P. 083108.
8. Павленко А.В., Малюгина С.Н., Перешитов В.В., Лисицина И.Н. // ПТЭ. 2013. № 2. С. 127.
9. Златин Н.А., Красильщиков А.Н., Мишин Г.И., Попов Н.И. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях. М.: Наука, 1974.
10. Ворона С.П., Мазанко В.Ф., Полищук Д.Ф., Фальченко Р.М. // ПТЭ. 1986. № 4. С. 196.
11. Pavlenko A.V., Malyugina S.N., Kazakov D.N., Bychkov V.V. // AIP Conf. Proc. 17th SCCM. (Chicago, 2011) 2012. V. 1426. P. 1113; <http://dx.doi.org/10.1063/1.3686474>.