

КОМПАКТНЫЙ РАЗГОННЫЙ СТЕНД ДЛЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

С.Б. Сапожников, О.А. Кудрявцев

COMPACT ACCELERATOR FOR BALLISTIC TESTING

S.B. Sapozhnikov, O.A. Kudryavtsev

Рассмотрен разгонный стенд, позволяющий метать ударники массой 2,2 г со скоростью до 700 м/с за счет энергии стандартного монтажного патрона. При исследовании баллистических характеристик преград из различных материалов производится измерение начальной скорости ударника и величины запреградного импульса с использованием оригинальной ловушки. Компактность и простота конструкции стенда позволяют использовать его как в научных, так и в учебных целях.

Ключевые слова: разгонный стенд, ударник, баллистические характеристики, преграды.

The stand for acceleration of projectiles of 2,2 g with terminal velocity up to 700 m/s by using standard industrial cartridge was developed. During investigation of ballistic characteristics of targets there are measured initial velocity and residual momentum of projectile with use of original catcher. Compactness and simplicity of accelerator allows to use it for scientific and educational purposes.

Keywords: accelerator, projectile, ballistic characteristics, barriers.

Введение. В отличие от реального оружия, предназначенного исключительно для пробивания преград, лабораторные метательные стенды широко используются для исследования механических свойств конструкционных материалов при высоких скоростях деформирования, верификации расчетных моделей и программного обеспечения, изучения механизмов разрушения материалов при интенсивных контактных воздействиях [1, 2]. Современные метательные (разгонные) стенды используют, как правило, энергию сжатого воздуха (скорость метания не более 350 м/с), легких газов (двухступенчатые системы, скорость метания до 11 км/с), энергию электромагнитного или электростатического взаимодействия (скорость метания до 8 км/с). Обзоры таких установок можно найти в работах [3, 4]. К сожалению, эти системы достаточно дороги, громоздки, малопроизводительны и требуют квалифицированного обслуживания. При решении задачи расчетной оценки процесса деформирования и перфорации многослойных тканевых пакетов из арамидных тканей толщиной до 10 мм ударники должны иметь скорость 315–650 м/с. Для исследования разрушения стальных термоупрочненных пластин нужна скорость ударника до 700 м/с и более. К сожалению, на современном рынке испытательного оборудования подобных установок нет. Таким образом, разработка компактного, простого и несложного в эксплуатации разгонного стенда для решения научных и учебных целей в области прикладной баллистики – актуальная задача.

Конструкция и принцип работы стенда. Главная проблема любого разгонного стенда – источник энергии. В рассматриваемой конструкции предложено использовать энергию газов стандартных монтажных патронов (серий D и K), имеющих в свободной продаже. Энергия этих патронов варьируется от 300 до 1000 Дж, чего вполне достаточно для разгона стальных сферических ударников диаметром 8 мм (масса 2,2 г) с отмеченными выше скоростями. Серийное производство монтажных патронов позволяет получить высокую стабильность скоростей метания,

Контроль и испытания

а фиксированная длина ствола (150 мм) – обеспечить компактность разгонному блоку и всему стенду в целом (рис. 1). Монтажные патроны имеют боковое воспламенение, что требует изготовления ударного бойка с иглой, смещенной от оси на расстояние 4,0 мм. Затвор – пружинный механический с ручным взводом, спуск может быть произведен дистанционно. Поскольку сферический ударник имеет в стволе зазор около 50 мкм, необходимо использовать легкий пыж из полиэтилена (масса около 0,25 г), который препятствует прорыву газов в зазор и повышает коэффициент использования энергии патрона. Меняя энергоемкость патрона или сдвигая пыж с ударником ближе к срезу ствола, можно регулировать скорость вылета. Измерение начальной скорости ударника производится стандартным цифровым хронографом типа S06 [5] с погрешностью не более 1 м/с на базе 70 мм. Для предотвращения загрязнения окон оптических датчиков хронографа продуктами неполного сгорания пороха хронограф удален от среза ствола на расстояние 15 см с помощью газоотводящей трубки 3. Если использовать вместо оптического индукционный хронограф ИБХ-741 [5], то можно исключить газоотводящую трубку и уменьшить габариты стенда. Однако в этом случае нельзя будет использовать неметаллические ударники. Мишень устанавливается вблизи хронографа на расстоянии 10–20 см. В результате пробоя преграды скорость индентора снижается, он попадает в ловушку 6, которая представляет собой стальную трубку с тканевой набивкой, и останавливается, передавая ей остаточный импульс. Ловушка смещается на некоторое расстояние, преодолевая силы трения с направляющей – опорой 8. Данное смещение измеряется (погрешность не более 0,5 мм) для последующего пересчета в остаточную скорость ударника по тарировочной зависимости.

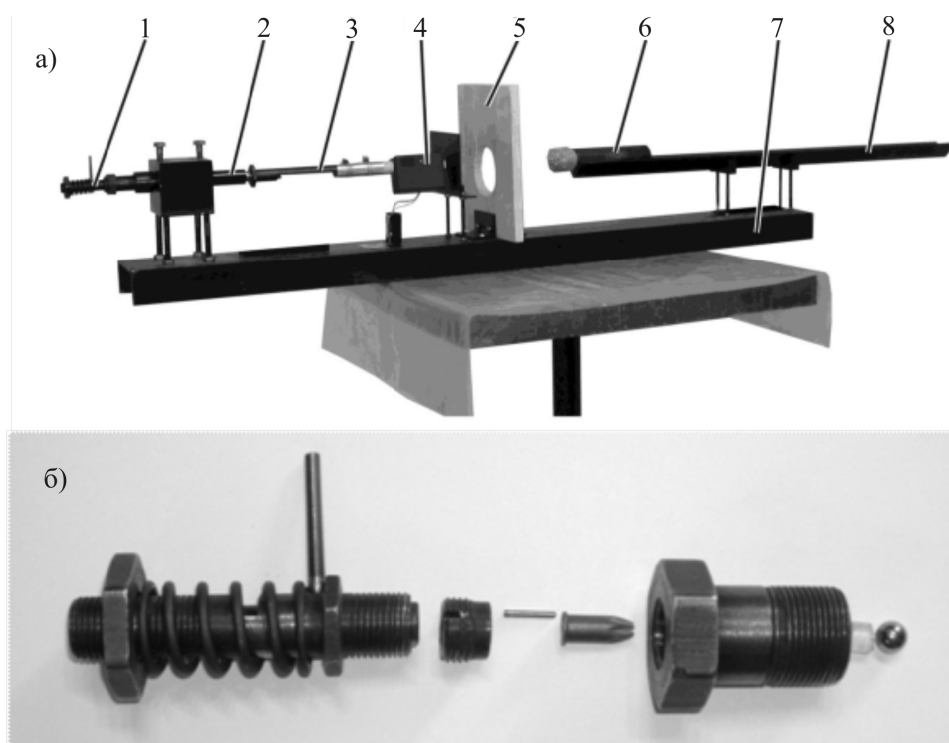


Рис. 1. Настольный разгонный стенд (защитный чехол снят): а – 1 – затвор; 2 – ствол; 3 – газоотводящая трубка; 4 – измеритель начальной скорости (хронограф); 5 – подставка для мишени; 6 – фрикционная ловушка; 7 – основание; 8 – направляющая ловушки; б – затвор и казенная часть с пыжом и ударником

Средняя погрешность измерения остаточной скорости таким способом не превышает 10 м/с (возможны непараллельность вектора скорости v и оси направляющей, флуктуации коэффициента трения по длине направляющей, колебания ловушки в процессе движения и др.). Применение баллистического маятника в данном случае нецелесообразно, так как приводит к существенному возрастанию габаритов установки и не повышает точность измерений. Важно отметить, что

перед повторением испытаний индентор должен быть извлечен из ловушки для сохранения ее массы. Близким к идеалу было бы использование высокоскоростной камеры для регистрации процесса движения индентора, пыжа и осколков мишени после ее пробоя, но для целей прикладной баллистики это нужно лишь в редких случаях. Проектировщиков защитных структур в основном интересует критическое значение скорости ударника – баллистический предел, т. е. граница целостности мишени.

Построение тарировочной зависимости. При взаимодействии индентора и ловушки считается, что выполняется гипотеза абсолютно неупругого удара, то есть сохранение импульса:

$$mV = (m + M)v, \quad (1)$$

где m и V – масса и скорость ударника до контакта с ловушкой; M и v – масса ловушки и ее скорость после захвата ударника.

Процедура тарировки ловушки заключается в проведении серии выстрелов при отсутствии мишени. Скорость V измеряется хронографом, а скорость v – через смещение S ловушки по направляющей. Чтобы выбрать правильную функцию для сглаживания разбросов экспериментальных значений полагали, что между ловушкой и направляющей имеет место сухое трение с постоянным коэффициентом f , вся кинетическая энергия ловушки после захвата ударника расходуется на работу сил трения:

$$(M + m) v^2/2 = (M + m) f \cdot g \cdot S,$$

откуда следует, что

$$v = (2f \cdot g \cdot S)^{0,5} = k \cdot S^{0,5}. \quad (2)$$

Для рассматриваемого стенда $M = 660$ г, $m = 2,2$ г, $g = 9,81$ м/с². При этих условиях в зависимости (2) тарировочный коэффициент $k = 2,51$ (определен из условия наилучшей аппроксимации кривой $v-S$, рис. 2). Отсюда получаем среднюю величину коэффициента трения $f = 0,32$, что вполне реально, учитывая качество обработки контактирующих поверхностей ловушки и направляющей – стального уголка. Для сохранения параметров трения в неизменности обращение с ловушкой проводится в нитяных перчатках, после экспериментов ловушка и направляющая закрываются накидкой от попадания пыли.

Последовательность работы стенда:

1. Взвешивание ловушки ($M = 660$ г); индентор и осколки от предыдущего выстрела удаляются из ловушки.

2. Установка ловушки в исходное положение ($S = 0$).

3. Установка мишени.

4. Установка ударника и пыжа в необходимое положение в стволе (вплотную к срезу монтажного патрона для получения наибольшей скорости, или со сдвигом по стволу на некоторое расстояние для получения меньшего значения скорости вылета).

5. Установка монтажного патрона в казенную часть затвора, завинчивание торцевой пробки с иглой-бойком, навинчивание ударной части, установка спуска на упор, взвод пружины.

6. Приведение хронографа в состояние готовности (до 30 с перед выстрелом).

7. Дистанционный спуск и фиксация скорости вылета V индентора на дисплее хронографа.

8. Фиксация смещения ловушки S с помощью линейки.

9. Определение запреградной скорости индентора v по тарировочной зависимости.

10. Разборка казенной части, очистка ствола от несгоревших частиц пороха (это особенно важно при выстрелах с небольшими скоростями).

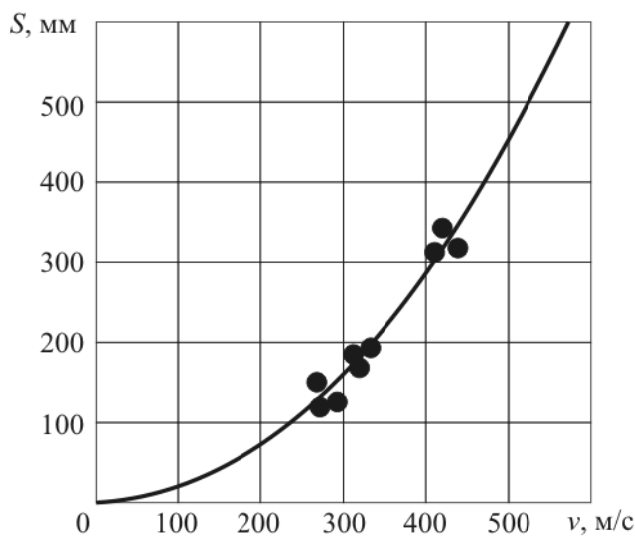


Рис. 2. Тарировочный график ловушки для определения остаточной скорости ударника

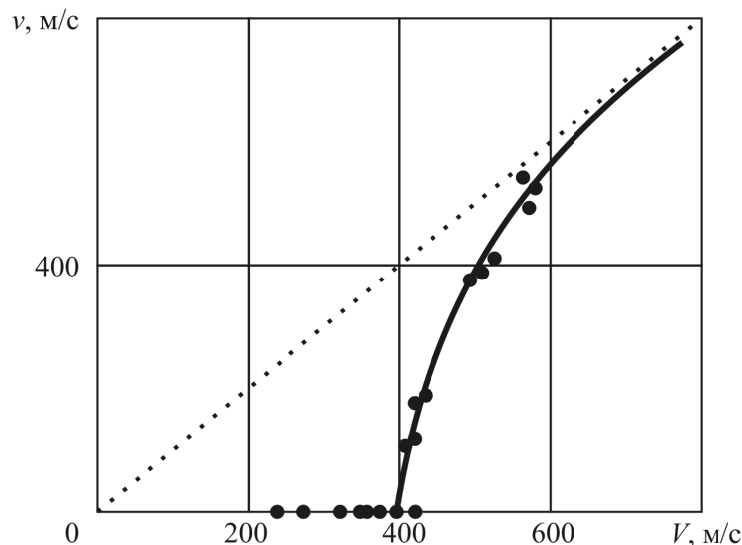


Рис. 3. Баллистическая кривая пробоя пакета из 10 тканей СВМ арт.56-334 стальными сферическими ударниками диаметром 8 мм

Для примера на рис. 3 приведена баллистическая кривая пробоя пакета из 10 тканей СВМ арт. 56-334 (размер в плане 30×30 см) стальными сферическими ударниками диаметром 8 мм (сталь ШХ15), полученная на данном стенде [6].

Выводы. Разработанный стенд обладает рядом серьезных преимуществ по сравнению с аналогами:

- 1) все компоненты стенда могут быть изготовлены в лабораторных условиях (нет прецизионных элементов);
- 2) в открытой продаже имеются монтажные патроны различной мощности, позволяющие получать различные скорости ударника; скорость можно плавно регулировать, сдвигая пыж и ударник по каналу ствола;
- 3) для стенда можно изготовить стволы различного диаметра, расширяющие размерный ряд используемых ударников;
- 4) могут быть использованы ударники в виде шаров или стержней с различными наконечниками (потеря устойчивости прямолинейного движения тела без стабилизирующего вращения вокруг оси происходит на больших расстояниях от дульного среза, а в предлагаемом стенде они минимальны);
- 5) небольшие размеры стенда (150×300×1500 мм) позволяют устанавливать его в любых помещениях и лабораториях;
- 6) важно заметить про соблюдение мер безопасности: обязательно использование защитного кожуха или дистанционного спуска из соседнего помещения-бокса.

Данный стенд используется для проведения испытаний в курсовых и дипломных работах студентов специальности «Динамика и прочность машин» физического факультета ЮУрГУ, а также при проведении научных исследований [6, 7], показав свою надежность и высокую производительность (до 15–20 выстрелов в час).

Литература

1. Hazell, P.J. *Ceramic armour: Design and Defeat Mechanisms* / P.J. Hazell. – Canberra: Argos Press, 2006. – 168 p.
2. *Advances in Ceramic Armor IV. A Collection of Papers Presented at the 32nd International Conference on Advanced Ceramics and Composites, January 27 – February 1, 2008, Daytona Beach, Florida* / ed. by L.P. Franks. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 230 p.
3. *High Velocity Impact Dynamics* / ed. by J.A. Zukas. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990. – 935 p.
4. *Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях* / под ред. Н.А. Златина, Г.И. Мишина. – М.: Наука, 1974. – 344 с.

5. <http://chronoshop.ucoz.com>

6. Долганина, Н.Ю. Деформирование и разрушение слоистых тканевых пластин при локальном ударе: дис. ... канд. техн. наук / Н.Ю. Долганина. – Челябинск, 2010. – 128 с.

7. Форенталь, М.В. Динамика деформирования и разрушения пластин при высокоскоростном нагружении ударниками со сложной структурой: дис. ... канд. техн. наук / М.В. Форенталь. – Челябинск, 2010. – 174 с.

Поступила в редакцию 11 августа 2012 г.

Сапожников Сергей Борисович. Доктор технических наук, профессор, декан заочного инженерно-экономического факультета, Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – механика композитных материалов, разработка защитных структур, применение нанотехнологий в промышленности, материалы на основе технической керамики, высокопрочные и «умные» материалы и конструкции. E-mail: ssb@susu.ac.ru

Sergei B. Sapozhnikov. The Doctor of Engineering Science, Professor, the dean of faculty of engineering and economy by correspondence, South Ural state university. The area of scientific interests – mechanics of composite materials, armor structures, nanotechnology in industry, technical ceramic, high strength and smart materials and structures. E-mail: ssb@susu.ac.ru

Кудрявцев Олег Александрович. Студент кафедры «Прикладная механика, динамика и прочность машин», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – разработка защитных структур, материалы на основе технической керамики

Oleg A. Kudryavtsev. Student of the Applies mechanics, dynamic and Strength of machines department, South Ural state university. The area of scientific interests – armor structures, technical ceramics.