

# ПОРОХОВАЯ НАГРУЖАЮЩАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А. А. Лопаткин, И. В. Занегин, В. В. Барабин, А. Н. Малышев, В. И. Скоков,  
А. В. Кальманов, О. Н. Игнатова*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

При изучении механических свойств конструкционных материалов для создания интенсивных динамических нагрузок используются устройства и установки, основанные на разных физических принципах. В последнее время все большее распространение для исследований динамической сжимаемости, прочностных характеристик и откольных явлений получают метательные устройства пушечного типа. Основным преимуществом применения этих устройств является прогнозируемое состояние ударника перед контактом с мишенью и возможность более точного определения его скорости.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ отработан метод исследования динамических прочностных свойств конструкционных материалов на пороховой нагружающей установке (ПНУ) ствольного типа (далее – Метод).

Особенностью экспериментов с использованием ПНУ является разгон объектов малых масс в сравнении со штатными параметрами для артиллерийской уста-

новки и необходимость разработки специальной испытательной оснастки, обеспечивающей разгон ударников до заданных скоростей без нарушения их прочности и геометрии, а также необходимую симметрию соударения ударника и нагружаемого образца.

Конструктивная схема ПНУ представлена на рис. 1, общий вид ПНУ – на рис. 2. Со стороны казенной части устанавливается метаемый объект (МО), состоящий из поддона и образца исследуемого материала или ударника; за ним помещают пороховой заряд. На дульном срезе ствола установки закрепляется надульный отсек, на торце которого монтируется узел с исследуемым образцом и необходимыми измерительными средствами. Под действием пороховых газов (ПГ) МО разгоняется до соударения с исследуемым образцом. Скорость МО определяется его массой, массой и составом порохового заряда, конструктивными особенностями установки.

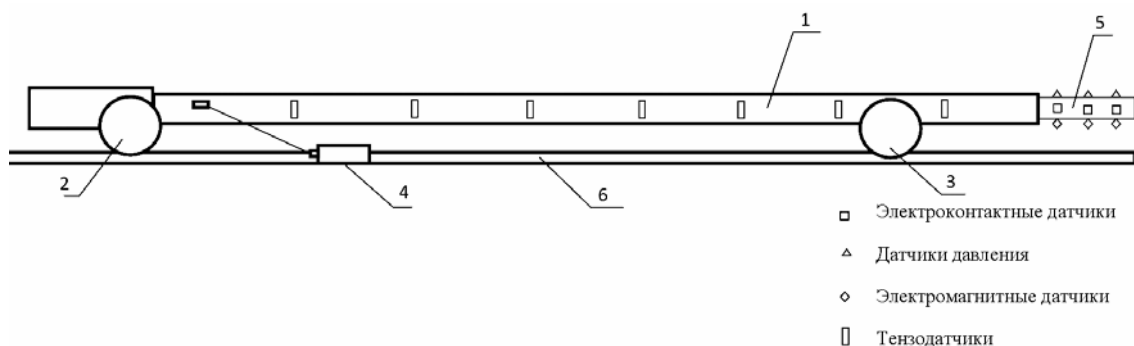


Рис. 1. Конструктивная схема ПНУ: 1 – ствол; 2, 3 – тележка; 4 – тормозное устройство; 5 – надульный отсек; 6 – рельсовые направляющие



Рис. 2. Внешний вид ПНУ

## Испытательная оснастка, применяемая в экспериментах с ПНУ

### Метаемый объект

Конструкция МО должна обеспечивать надежную обтюрацию ПГ, сохранение механических свойств материала ударника при его разгоне до заданных скоростей соударения, возможность вакуумирования внутреннего объема ствола, а также обеспечивать необходимую симметрию нагружения образца ударником. Были отработаны МО нескольких конструктивных исполнений, схемы и общий вид которых представлены на рис. 3 и рис. 4.

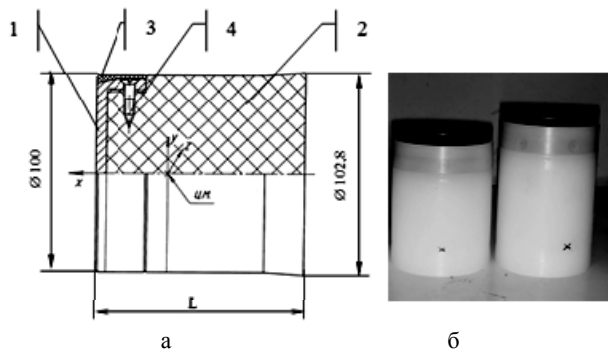


Рис. 3. Метаемый объект – вариант 1: а – схема, б – внешний вид; 1 – ударник; 2 – поддон; 3 – кольцо; 4 – крепеж

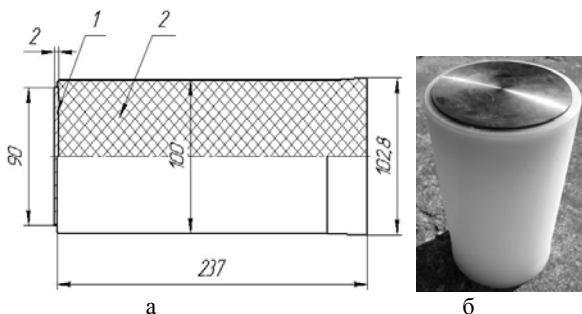


Рис. 4. Метаемый объект – вариант 2: а – схема, б – внешний вид; 1 – ударник; 2 – поддон

### Надульный испытательный отсек

Основной испытательной оснасткой в данном Методе исследования являются надульные испытательные отсеки 5, рис. 1, которые обеспечивают сохранность ствола ПНУ при соударении МО с исследуемым образцом, симметрию соударения ударника с образцом, вакуумирование внутреннего объема, а также возможность установки необходимых измерительных средств.

На рис. 5 приведены схема и внешний вид испытательного надульного отсека для ПНУ. Отсек можно разделить на три секции по функциональному назначению:

- секция 1 с внутренним диаметром равным калибру ствола, служащая для закрепления отсека на стволе и установки датчиков;
- секция 2 – расширительная камера с расположенными на ней специальными отверстиями для

сравливания газов, предназначенная для уменьшения воздействия газовой пробки на мишень;

- секция 3 – нагружаемый блок с мишенью-образцом, установленным на разрушаемом дисковом основании.

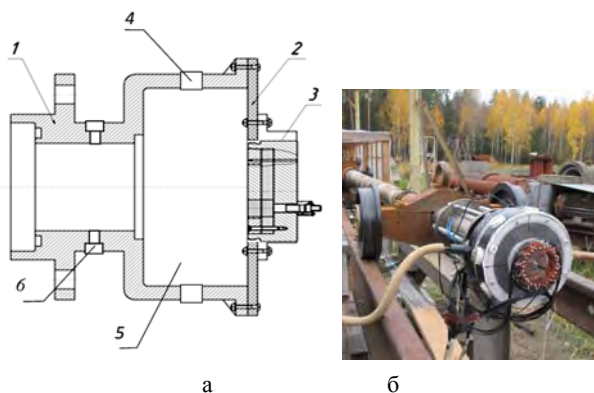


Рис. 5. Надульный отсек: а – схема, б – внешний вид; 1 – корпус измерительного отсека; 2 – разрушаемое дисковоснование; 3 – нагружаемый блок с мишенью-образцом; 4 – отверстия для сброса газов; 5 – расширительная камера; 6 – отверстия для установки пьезоэлектрических датчиков давления и пусковых электроконтактов

При использовании представленной выше экспериментальной оснастки, максимальный суммарный угол неплоскостности при соударении МО с образцом по технологическим причинам может составлять не более  $\approx 0,2^\circ$ .

### Методики измерений

В данном Методе исследования используются следующие измерительные методики:

- тензометрическая методика для определения X-t диаграммы движения и скорости МО, а также определения давления ПГ в камере сгорания и в застарядном пространстве;
- методика измерения давления с помощью пьезоэлектрических датчиков для измерения давления ПГ в камере сгорания и давления в воздушной пробке, собираемой МО, а также для определения скорости МО (в этом случае датчики давления служат метчиками времени);
- методика измерения скорости МО с помощью электромагнитных датчиков;
- электроконтактная методика для измерения скорости ударника и определения симметрии соударения ударника с образцом;
- методика пьезорезистивного (манганинового) датчика для регистрации профилей давления на границе образец-подложка;
- лазерно-интерферометрическая методика для непрерывной регистрации скорости свободной поверхности образца.

Применение данных методик при проведении экспериментов с ПНУ позволяет получить большой объем данных для анализа результатов экспериментов. Данные приведены на рис. 6, 9, 10, 11.

На рис. 5 приведена осциллограмма, полученная с датчика давления (PS01-01), установленного в первой секции отсека (скорость ударника  $\approx 2200$  м/с). По осциллограмме среднее давление в газовой пробке не превышает 2 МПа, а ее длина составляет  $\approx 1,3$  м.

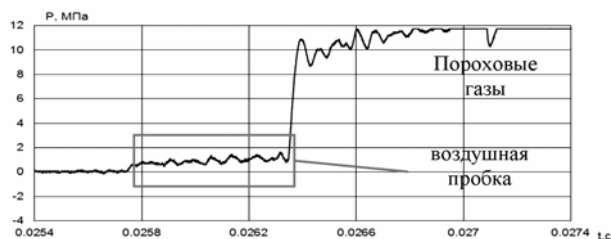


Рис. 6. Давление в газовой пробке перед МО

Выход газов через отверстия в расширительной камере показан на кадрах скоростной видеосъемки, приведенных на рис. 7.



Рис. 7. Выход газов через отверстия в секции 2

На рис. 8 показана конструкция измерительной гильзы, в которой для измерения давления в зарядной камере устанавливались два пьезодатчика давления типа 2Т6000 (НТИИМ, Н. Тагил). Характерные сигналы датчиков давления представлены на рис. 9.

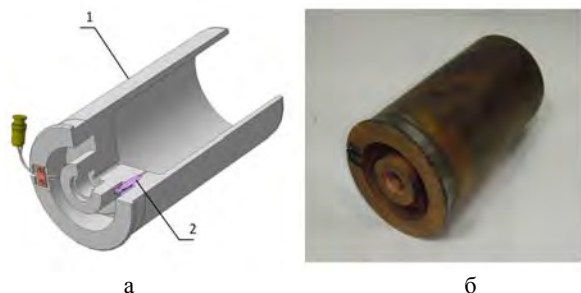


Рис. 8. Измерительная гильза а – конструктивная схема: 1 – корпус гильзы, 2 – датчик давления 2Т6000; б – общий вид

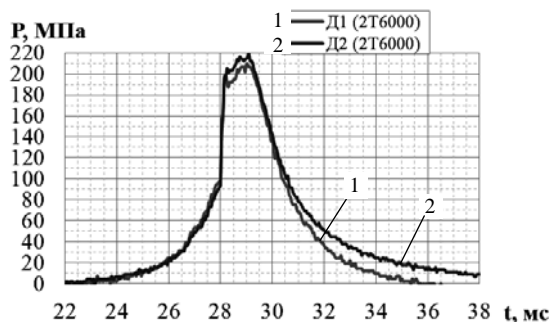


Рис. 9. Характерные сигналы датчиков давления

В таблице приведены некоторые результаты тестовых экспериментов по исследованию динамических свойств конструкционных материалов, полученные по нескольким методикам: характеристики ударников и образцов, экспериментальные значения скоростей соударения и реализованных давлений.

В столбце «скорость» таблицы приведены значения усредненной скорости ударника  $v$ , в столбце «давление на стационарном участке ударной волны (УВ)» – значение давления на стационарном участке профиля УВ в образце, рассчитанное по зарегистрированным в экспериментах зависимостям скорости свободной поверхности образца и/или давления на границе «образец-подложка» от времени.

На рис. 10 представлены зарегистрированные с помощью манганиновых датчиков профили УВ во фторопластовом экране, при нагружении образца из ст. 20 со скоростью  $\approx 1600$  м/с.

Из графиков на рис. 10 видно, что УВ на датчики, установленные в одной плоскости на расстоянии 5 мм друг от друга, приходят одновременно, что также свидетельствует о плоском соударении. Длительность импульса нагружения с постоянным давлением составила  $\approx 1,9$  мкс при фронте нарастания  $\approx 10$  нс.

Материал ударника	Габариты ударника, мм	Материал образца	Габариты образца, мм	Скорость, м/с	Давление на стационарном участке УВ, ГПа
Ст. 20	Ø 92 × 11,6	Сталь	Ø 100 × 5	1600	30
Ст.20	Ø 92 × 11,6	Сталь	Ø 100 × 10	2250	45
Ст.20	Ø 92 × 11,6	Сталь	Ø 10 × 10	520	13,5
Медь М1	Ø 88 × 5,0	Медь М1	Ø 110 × 11 (Ø 22 × 11)	1000	25
Медь М1	Ø 90 × 2,0	Медь М1	Ø 76 × 4 (Ø 7 × 4)	990	22
Церий	Ø 45 × 1,85	LiF	Ø 22 × 24	1000	–

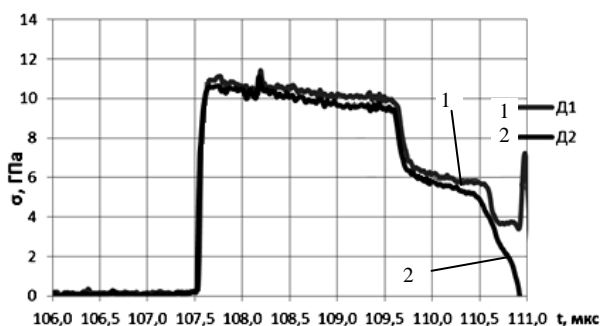


Рис. 10. Профиль ударной волны на границе ст. 20-фторопласт при нагружении со скоростью  $\approx 1600$  м/с

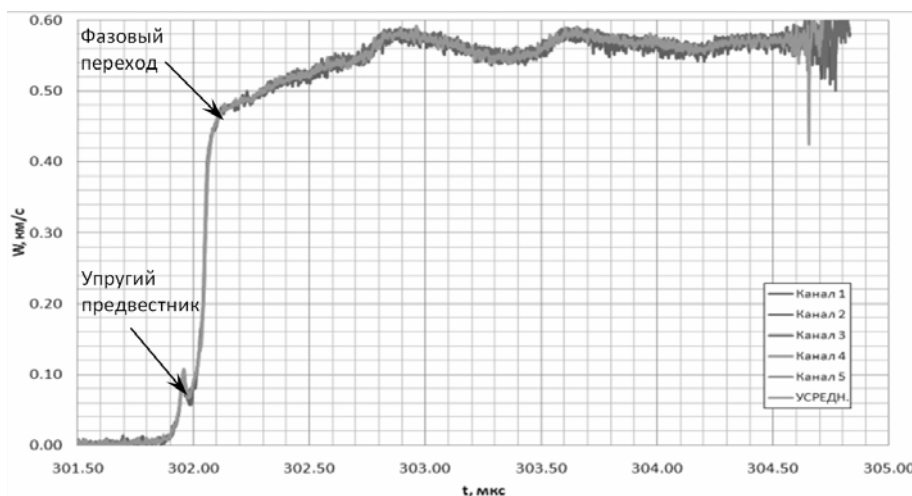


Рис.11. Скорость свободной поверхности образца (Ст. 20), зарегистрированная с помощью лазерного интерферометра при скорости нагружения  $\approx 520$  м/с

Результаты измерений, полученные с помощью электроконтактных датчиков, установленных за свободной границей образцов на расстоянии 1–3 мм, показали, что максимальное значение разновременности срабатывания ЭКД составило 0,165 мкс на радиусе 50 мм.

На рис. 11 показана зависимость скорости свободной поверхности образца из ст. 20 от времени, полученная с помощью лазерно-интерферометрической методики при скорости нагружения  $\approx 520$  м/с.

## Выводы

Метод исследования свойств конструкционных материалов при помощи ПНУ позволяет получать большой объем первичных данных. Данный метод имеет перспективу широкого применения для исследования динамических свойств конструкционных материалов.