

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

*В. Н. Минеев, В. П. Погорелов, А. Г. Иванов,
В. А. Свидинский, В. Н. Русак, Ю. В. Букреев,
И. А. Ткаченко, А. Т. Шитов, С. А. Кривов*

(Москва)

Для проведения исследований, например, прочности материалов и конструкций при динамических нагрузках необходимы устройства, позволяющие разогнать исследуемые образцы (или ударник) до скоростей $10 \div 1000$ м/с. Эти устройства должны обеспечивать плавность разгона для исключения предварительного влияния ударных волн на свойства исследуемого образца, а разгон ударника и его соударение с мишенью должны происходить с минимально возможным перекосом. Невыполнение последнего условия приводит к возникновению асимметрии фронта ударной волны в образце. Так, если перекосяк при соударении ударника с мишенью составляет угол φ , то перекосяк фронта ударной волны в образце относительно плоскости соударения составит угол $\alpha = \varphi \cdot D/\omega$, где D — скорость фронта ударной волны в мишени, ω — скорость соударения ударника с мишенью.

При соударении металлических ударника и мишени с $\omega = 10 \div 1000$ м/с $D \approx 5000$ м/с. Следовательно, $\alpha \approx (500 \div 5) \varphi$.

Указанные выше условия выполняются при разгоне образцов (ударников) пороховыми [1, 2] и газовыми пушками (баллистическими ударными трубами — БУТ). Пороховые пушки требуют частой чистки от загрязнений, возникающих при горении пороха. Поэтому наиболее широкое применение нашли БУТ, обзор конструкций которых содержится в [3—5].

Ниже приводится описание БУТ, конструкция которой включает камеру торможения, жестко связанную со стволом установки. Камера торможения позволяет сохранить ударник и мишень после снятия динамической нагрузки.

Схема БУТ и размеры ее узлов приведены на рис. 1. Основные узлы БУТ: камера высокого давления 1, в которую накачивается рабочий газ, диафрагма 2, отделяющая камеру высокого давления от ствола, ударник 3, ствол 4, мишень 5, камера для выпуска остаточного газа между ударником и мишенью во время опыта 6 и камера торможения 7.

Длина ствола (калибром 76,2 мм) выбрана, исходя из размеров имеющегося помещения. Остальные размеры установки выбирались с учетом результатов газодинамических расчетов и данных, приведенных в [4, 5].

Объем камеры высокого давления V и давления p в ней выбирались, исходя из следующих соображений. Давление 40 МПа является легко достижимым с помощью компрессора разумных размеров. Камеру высокого давления целесообразно иметь одну, приспособленную как для работы с воздухом (с азотом при $p > 20$ МПа), так и с гелием. Данные, приведенные в [4], показывают, что отношение массы рабочего газа g к массе ударника m должно быть $\approx 10-20$. При массе металлического ударника 400—800 г, которая целесообразна с точки зрения прочности и жесткости ударника, объем камеры высокого давления $V = 50$ л.

Принципиальным вопросом является форма камеры высокого давления. На рис. 2 приведены расчетные зависимости скорости ударника

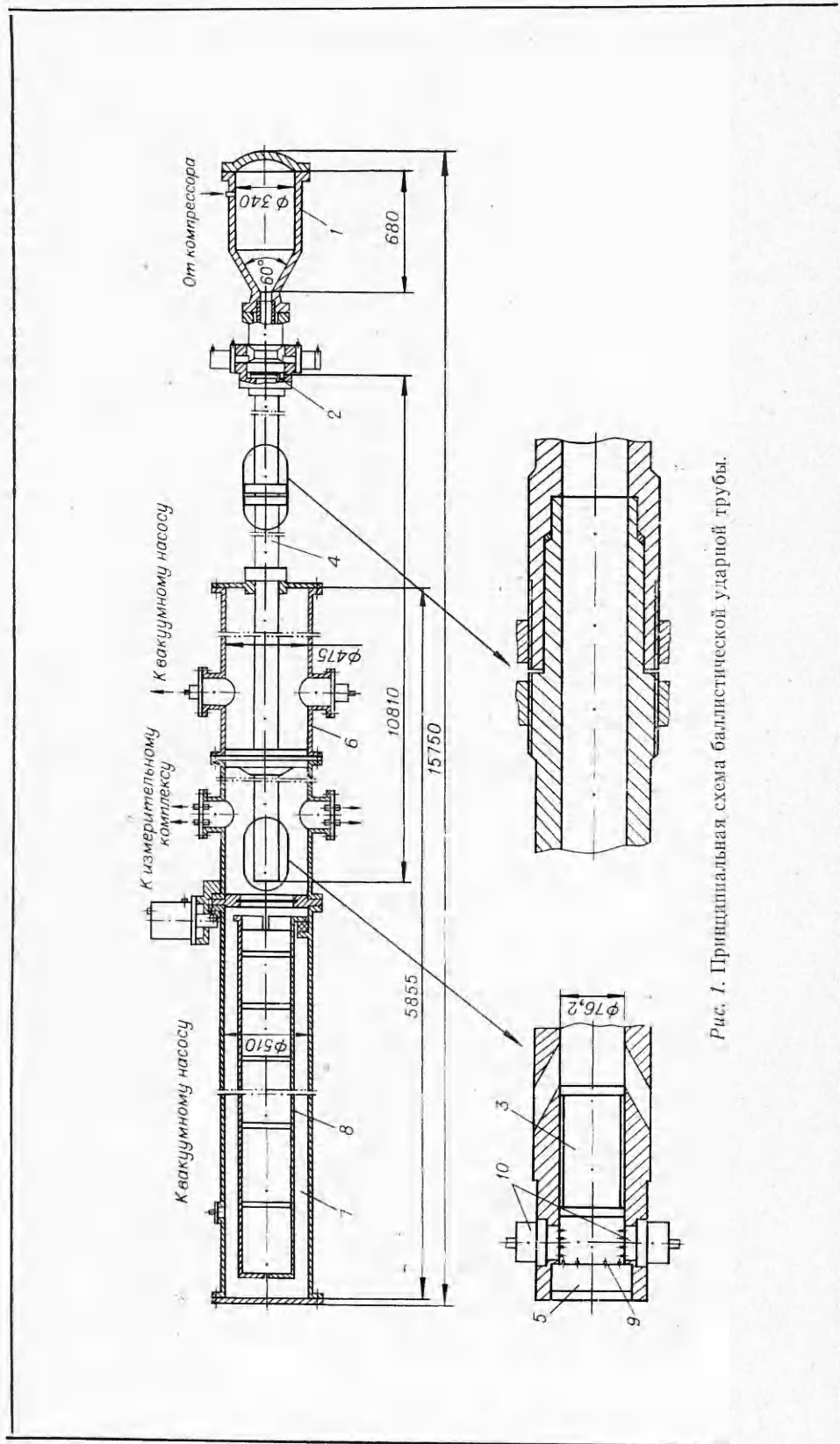


Рис. 1. Принципиальная схема баллистической ударной трубы.

в вакууме w от длины ствола l при $m=400$ г, $p=40$ МПа и $V=50$ л. Во всех расчетах рабочий газ — гелий, время раскрытия диафрагмы принималось равным нулю. Кривая 1 — результат одномерного квазистатического расчета, в котором предполагается, что расширение газа происходит изэнтропически, а давление в системе постоянно и зависит от времени. Этот расчет дает верхнюю оценку скорости ударника. Нижняя оценка скорости ударника может быть получена решением задачи Лагранжа.

Пусть камера высокого давления объемом 50 л имеет вид цилиндра с сечением, равным сечению ствола. Решение этой задачи при $l \leq l_1$ ($l_1=218$ м — место догона ударника волной, отраженной от задней стенки камеры высокого давления) иллюстрируется кривой 4. Кривая 5 — результат решения подобной задачи, когда в стволе перед ударником находится двухатомный идеальный газ с плотностью $0,0013$ г/см³. Кривая 2 — результат одномерного расчета, в котором предполагалось: а) давление в камере высокого давления одинаково по объему, б) истечение газа из камеры в ствол описывается уравнением Бернулли, т. е. квазистационарное, в) плотность газа в стволе одинакова.

Наиболее реальным приближением двумерной картины движения газа в системе камера высокого давления — ствол, где ствол — следующее одномерное приближение. Движение газа в стволе действительно близко к одномерному, так как диаметр ствола много меньше его длины. В камере высокого давления можно выделить некоторые сечения, на которых все газодинамические характеристики потока одинаковы. Результаты численного расчета на ЭВМ методом типа, описанного в [6], приведены на рис. 2, 3. В расчете камера высокого давления взята в виде усеченного конуса, диаметры основания которого 40 и 7,62 см, а высота — 97,35 см.

Поверхности, где все газодинамические характеристики потока предполагаются постоянными, берутся в виде сфер с центром в вершине конуса. Увеличение диаметра большого основания конуса до 100 см (при высоте камеры 17,65 см) приводит к зависимости $w(l)$, отличающейся не более чем на 2% от зависимости, приведенной на рис. 2, 3. Расчет двумерного истечения газа из камеры высокого давления сферической формы ($V=50$ л) в ствол показывает хорошее совпадение зависимостей $w(l)$ и распределения давления газа в системе камера — ствол, полученных по одномерному приближению. Например, при длине ствола 20 м скорость ударника по двумерному расчету на 7% ниже, чем по одномерному приближению.

Результаты этих расчетов показывают, что форма камеры высокого давления при сравнимых значениях продольного и поперечного размеров практически не сказывается на законе движения ударника. Исходя из этого, форма камеры взята такой, как показано на рис. 1.

Камера высокого давления отделена от ствола металлической диафрагмой 2, которая в заданный момент времени разрубается на

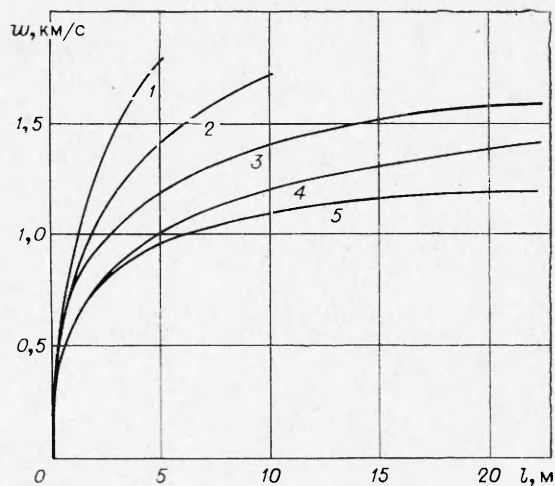


Рис. 2. Результаты газодинамических расчетов скорости ударника w от длины ствола l .

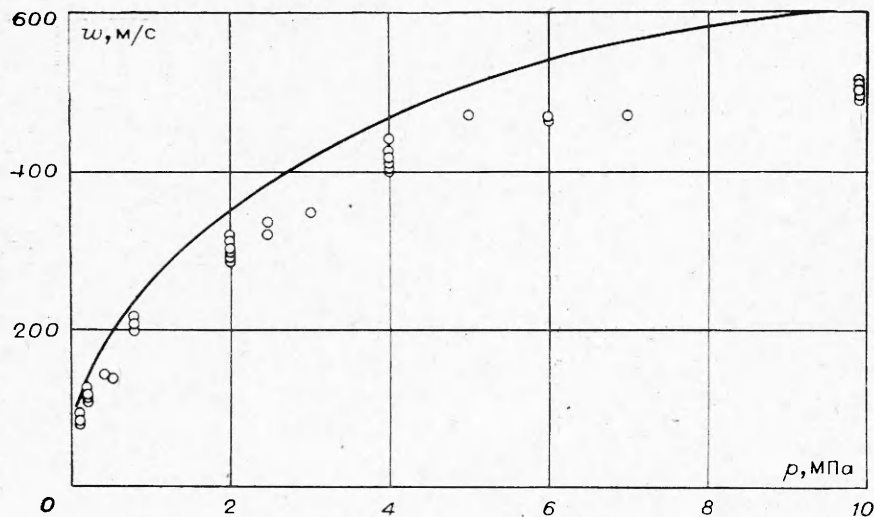


Рис. 3. Зависимость скорости ударника от давления воздуха в камере высокого давления.

четыре лепестка с помощью крестовидного ножа, приводимого в действие пневматической системой. Длина металлического ударника 3 взята равной двум калибрам ствола. На боковой поверхности ударника расположены две уплотнительные прокладки из фторопласта. Ствол БУТ собран из секций длиной по 4 м, выточенных из термически обработанной стали ОХНЗА ($\sigma_b = 110 \text{ кгс/мм}^2$).

Мишень 5 устанавливается в дульной части ствола. Путем выбора соответствующих допусков на установочные размеры дульной части ствола, мишени и ударника можно добиться заданной величины перекоса соударения ударника с мишенью. Камера 6 объемом 400 л — буферная емкость для сброса (через отверстия в стволе) во время опыта остаточного газа из ствола между ударником и мишенью, она также является частью замкнутой силовой системы соединения ствола с камерой торможения 7. В стволе и камерах 6, 7 создается необходимый для опыта вакуум.

Камеры торможения и высокого давления состыкованы во время проведения опыта соответственно с камерой 6 и стволом. Стыковка осуществляется с помощью пневматических кльковых зажимов. Камера торможения состоит из пенала 8 с демпфером (пенопласт, ветошь и т. п.) и защитного чехла из Ст. 20. Разработанная камера торможения позволяет сохранить после опыта ударник и мишень общей массой 1 кг при скорости ударника (массой 700 г) 1,5 км/с.

Баллистическая ударная труба размещена на подставках, которые могут перемещаться по рельсовому пути. Вдоль ствола размещена измерительная аппаратура, необходимая для регистрации результатов опыта. Пульс управления БУТ и сама установка находятся в одном помещении.

Измерения проведены контактно-осциллографическим методом, описанным применительно к БУТ в [5]. Пять контактов 9 для измерения перекоса плоскости соударения ударника с мишенью располагаются на мишени параллельно оси ствола. Две группы контактов 10 для измерения скорости ударника располагаются в непосредственной близости от мишени.

Результаты измерения скорости ударника массой 720±20 г в интервале давления сжатого воздуха 1÷10 МПа приведены на рис. 3. На этом же рисунке дана расчетная зависимость скорости ударника

от давления сжатого азота. Расчет проведен по одномерному приближению, описанному выше. В исследуемом интервале давлений воздуха отличие эксперимента от расчета не превышает 100 м/с и, по-видимому, связано не только с различием в рабочих газах, но и с конечным временем раскрытия диафрагмы [7].

При изготовлении ударников и плоских мишеней по третьему классу точности измеренный перекося при соударении ударника с мишенью составил угол 0,6 мрад. Эксперименты проведены при давлении остаточного воздуха в стволе и камерах (см. рис. 1, 6, 7) 0,5 мм рт. ст. и давлении воздуха в пневматической системе привода ножа, разрушающего диафрагму, 5 МПа.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что возникающие в процессе опыта вибрации в конструкции БУТ не влияют на результаты контактно-осциллографических измерений, а также измерений с помощью кварцевого, емкостного и манганинового датчиков.

*Поступила в редакцию
1/III 1977*

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Набатов, В. В. Якушев. Проблемы прочности, 1975, 3.
2. В. Г. Петушков, Г. В. Степанов. Прикладная механика. Отделение математики, механики и кибернетики АН СССР, 1969, 7.
3. Физика быстротекущих процессов. Сборник. М., «Мир», 1971.
4. Н. А. Златин, Г. И. Мишин. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях. М., «Наука», 1974.
5. Г. Р. Фаулс, Г. Е. Дюваль и др. Приборы для научных исследований, 1970, 7.
6. М. Л. Уилкс.— В сб.: Вычислительные методы в гидродинамике. М., «Мир», 1967.
7. Р. В. Уайт, Р. Фаулс. Приборы для научных исследований, 1968, 9.

ХАРАКТЕР ДЕФОРМАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ СОУДАРЕНИИ ТОНКИХ ПЛАСТИН

М. П. Бондарь, В. А. Симонов

(Новосибирск)

При несимметричном соударении пластин в режимах сварки взрывом форма границы соединения определяется значениями основных параметров процесса: углом соударения γ , скоростью точки контакта v_k и соответственно величиной давления в окрестности точки контакта p [1, 2]. Кроме того, форма волнообразной границы соединения при одинаковых параметрах соударения может существенно изменяться в зависимости от отношения плотностей свариваемых металлов [3] и от их прочностных свойств [4]. В работе [5] на примере сварки пластин толщиной 0,5—1,0 мм показано, что процесс течения металлов в зоне соединения при $v_k < 0,5c_t$ (c_t — скорость поперечных волн) осуществляется в соответствии с закономерностями пластической деформации поликристаллических материалов. Это подтверждается установ-