

О ЛИКВИДАЦИИ СТРУЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН

УДК 534.222.2

С. А. Новиков, В. И. Скоков

ВНИИ экспериментальной физики, 607190 Саров

Рассмотрено явление столкновения детонационных волн на поверхности алюминиевого и медного корпусов. Показано, что в первом случае формируется кумулятивная струя, а во втором — сочетание кумулятивной и «трехударной» струй. Предложены экспериментально отработанные способы устранения струй.

Столкновение детонационных волн (ДВ) в заряде взрывчатого вещества (ВВ), поверхность которого находится в контакте со слоем инертного материала (корпуса), часто приводит к образованию струй. В [1] показано, что существует два механизма образования струй: формирование кумулятивной струи и образование так называемой «трехударной» струи (TS — three-shock) — направленного течения материала, реализующегося при выходе структуры из трех ударных волн (УВ) на свободную поверхность, это течение образуется при нерегулярном характере столкновения двух косых ударных волн в материале корпуса.

Во многих практически важных случаях образование струй нежелательно, так как они приводят к разрушениям или значительным повреждениям находящихся вблизи конструкций и деталей. Так, например, в спиральном взрывомагнитном генераторе с двухсторонним иницированием заряда ВВ центральной трубы [2] возникающие на ее поверхности в плоскости столкновения ДВ струи приводили к преждевременному разрушению витков спиральной катушки. Характер взаимодействия таких струй с преградами и количественные данные приведены в [3].

В настоящей работе описаны некоторые способы ликвидации таких струй на поверхности алюминиевого и медного корпусов. Полученные результаты представляют интерес для специалистов, разрабатывающих взрывные устройства с многоточечной системой иницирования заряда ВВ.

При кумулятивном механизме причиной формирования струи является наличие составляющей v скорости корпуса u , направленной в точку столкновения ДВ (рис. 1). Появление компонента v обусловлено разворотом корпуса на угол α относительно начального положения под действием продуктов взрыва.

Очевидно, что если в области столкновения ДВ корпусу придать угол $-\alpha/2$, то при его развороте в режиме скользящей детонации на угол α вектор/скорости u будет параллелен плоскости столкновения ДВ, и как результат $v = 0$. Конструктивно это можно выполнить с помощью конусного элемента (рис. 2) [4]. Предполагается, что масса конусного элемента мала по сравнению с массой корпуса.

Оценим угол β конусного элемента для случая цилиндрической трубы, заполненной

*caseing vel (u)
velocity vector (4)*



Рис. 1

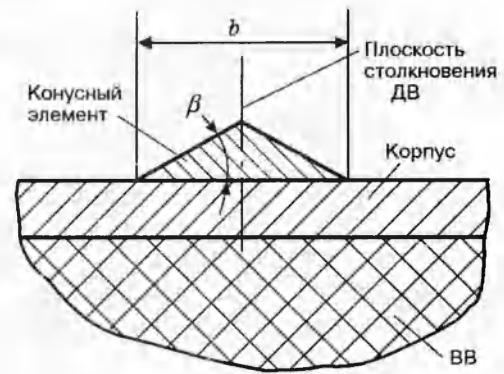


Рис. 2

Рис. 1. Схема образования кумулятивной струи в плоскости столкновения ДВ в режиме скользящей детонации

Рис. 2. Конусный элемент и его положение на корпусе относительно плоскости столкновения ДВ

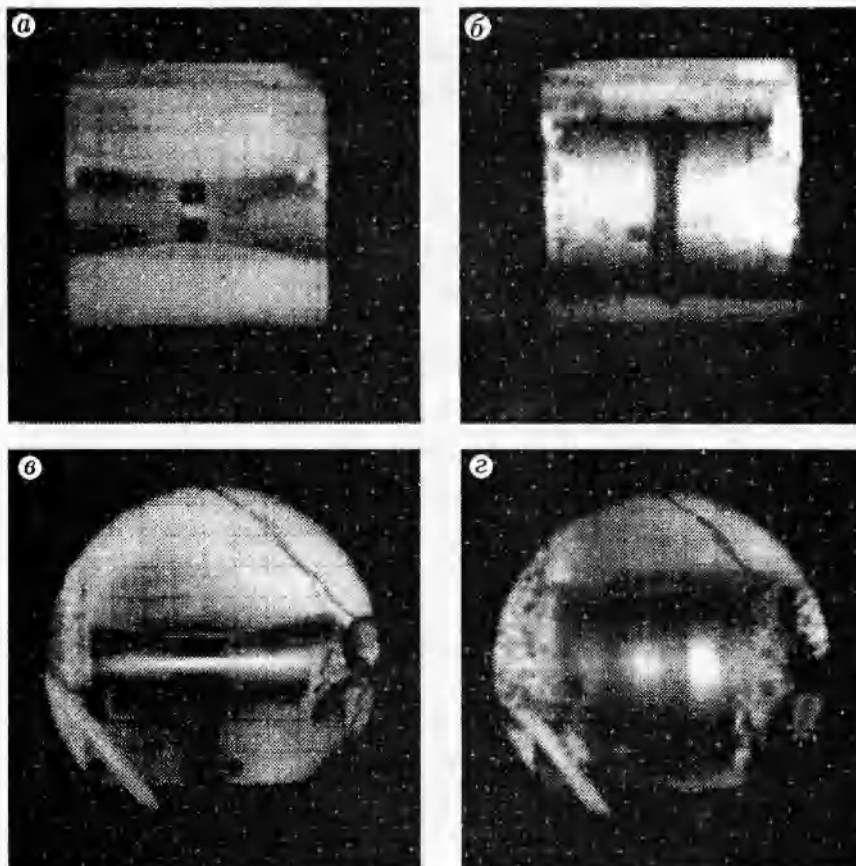


Рис. 3. Фотохронограммы процесса столкновения ДВ в опытах с алюминиевой трубой:

а, б — без конусного элемента; в, г — с конусным элементом в области столкновения ДВ; а, в — момент столкновения; б, г — через 16 мкс после столкновения ДВ

ВВ. Согласно Гарни скорость стенок трубы

$$u = \frac{D_{ВВ}}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\mu + 2}}, \quad (1)$$

где μ — отношение погонных масс ВВ и трубы, $D_{ВВ}$ — скорость детонации. С другой стороны,

$$u = 2D_{ВВ} \sin(\alpha/2). \quad (2)$$

Так как $\beta = \alpha/2$, то, приравнявая (1) и (2), с учетом малости α для угла β получим

$$\beta = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu}{\mu + 2}}, \quad (3)$$

что дает, например, $\beta \approx 8^\circ$ при $\mu = 1$.

Экспериментальная проверка этого предложения проводилась в опытах с алюминиевой трубой $\varnothing 55 \times 7,5$ мм и длиной 300 мм, заполненной составом ТГ30/70. Заряд ВВ инициировался одновременно с двух сторон.

Конусный кольцевой элемент, изготовленный из алюминия, имел угол $\beta = 10^\circ$ и ширину основания $b = 20$ мм (см. рис. 2). Фотохронограмма, приведенная на рис. 3, показала, что установка кольцевого конического элемента устранила кумулятивную струю на поверхности трубы в плоскости столкновения ДВ.

Скользящая ДВ вызывает в корпусе косую ударную волну (УВ). Схема течения приведена на рис. 4. Параметры на фронте косо́й УВ связаны соотношениями [5]

$$\frac{u_p}{D_{ВВ}} \cos(\varphi - \chi) = \sin \chi, \quad \frac{D}{D_{ВВ}} = \sin \varphi, \quad D = a_0 + \lambda u_p, \quad (4)$$

где a_0 , λ — константы материала корпуса, D , u_p — волновая и массовая скорости, χ — угол разворота внутренней границы корпуса с продуктами взрыва; φ — угол, определяющий положение фронта косо́й УВ.

Решение системы (4) проводилось для алюминия и меди, для которых $a_0 = 3,913$ км/с, $\lambda = 1,500$ и $a_0 = 5,327$ км/с, $\lambda = 1,357$ [6] соответственно. Для ВВ использованы данные по составу В из работы [5]: $D_{ВВ} = 8,01$ км/с, плотность $\rho_{ВВ} = 1,71$ г/см³. Результаты расчетов, выполненных согласно [4], сведены в таблицу.

Как видно из таблицы, для алюминия $\theta < \theta_*$, где θ — дополнительный угол к углу φ ; θ_* — предельное значение θ , определяющее переход к нерегулярному режиму столкновения косо́й УВ. Потому отражение косо́й УВ носит регулярный режим, что согласуется и с [1]. В этом случае необходимо решать задачу устранения лишь кумулятивной струи. Для меди $\theta > \theta_*$, т. е. формируется трехударная конфигурация УВ, которая при выходе на свободную поверхность корпуса образует TS-струю. Следовательно, в случае медного корпуса в плоскости столкновения ДВ имеет место сочетание кумулятивной струи и TS-струи. Если для устранения первой достаточно установить конусный элемент, то для устранения второй необходимы дополнительные меры.

Материал	u_p , км/с	D , км/с	p , ГПа	χ , град	φ , град	θ , град	θ_* [7], град
Алюминий	0,93	6,54	16,54	4,23	54,79	35,21	42
Медь	0,51	4,65	21,08	3,06	35,57	54,33	42

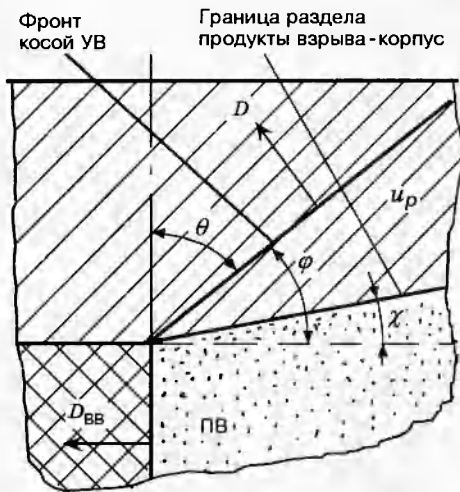


Рис. 4

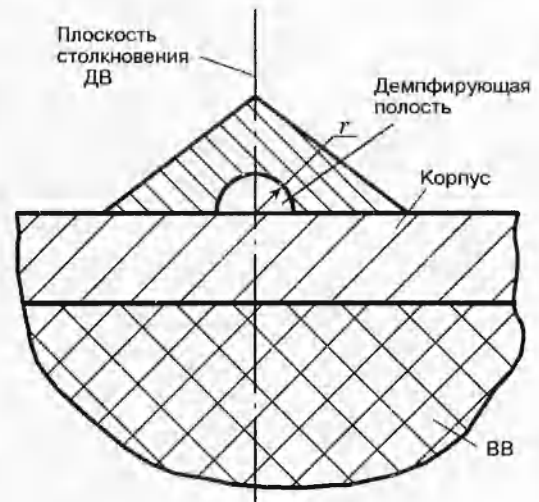


Рис. 5

Рис. 4. Ударно-волновое течение в корпусе, вызванное скользящей ДВ

Рис. 5. Конусный элемент с демпфирующей полостью

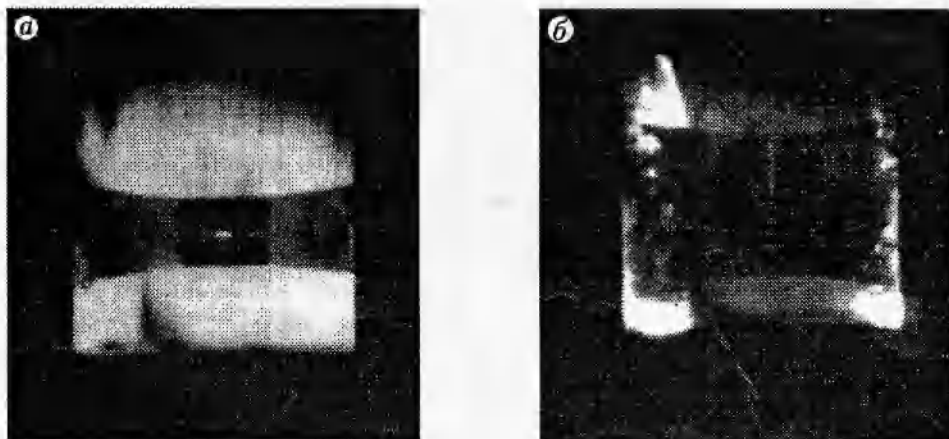


Рис. 6. Фотохронограмма процесса столкновения ДВ в опытах с медной трубой, снабженной конусным кольцевым элементом с демпфирующей полостью:
 а — момент столкновения ДВ; б — через 24 мкс после столкновения ДВ

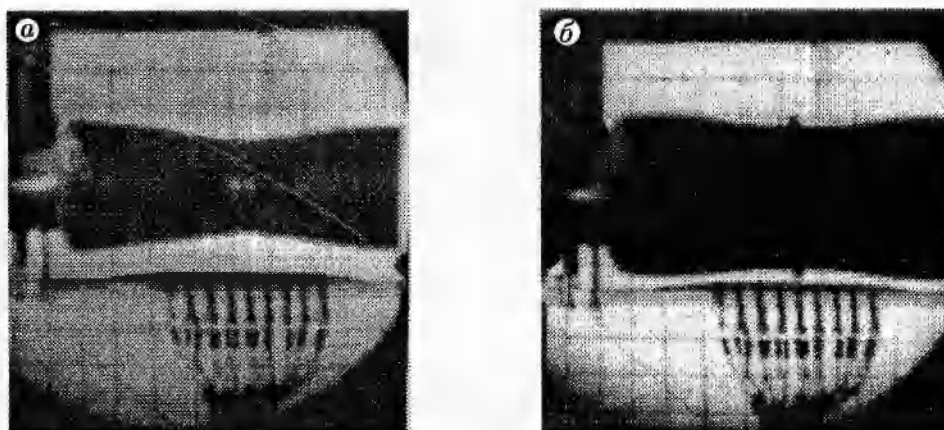


Рис. 7. Фотохронограмма разлета медной трубы с конусным кольцевым элементом без демпфирующей полости:
 а — момент столкновения ДВ; б — через 8 мкс после столкновения ДВ; в нижней части фотохронограмм видны электроконтакты для измерения скорости стенок трубы

Причиной формирования TS-струи является существенно большее, чем в падающей и отраженной УВ, значение массовой скорости за фронтом маховской УВ. Если на пути ее распространения в корпусе расположить воздушную полость или заполнить ее менее жесткой, чем материал корпуса, средой, то для маховской УВ она будет играть роль демпфера. В результате при выходе маховской УВ на свободную поверхность ее параметры в зависимости от размера полости могут быть снижены до величин, при которых TS-струя не формируется.

Конструктивно демпфирующая полость может быть выполнена, как показано на рис. 5, — в форме полуцилиндрической выборки в основании конусного элемента [2].

Предложенный способ устранения кумулятивной струи и TS-струи проверялся в опыте с медной трубой $\varnothing 110 \times 10$ мм и длиной 600 мм, заполненной составом ТГ30/70. Заряд ВВ инициировался с двух сторон одновременно. Медный кольцевой элемент ($b = 20$ мм, $\beta = 15^\circ$) был изготовлен с полостью радиусом $r = 1$ мм. Как видно из фотохронограммы, приведенной на рис. 6, в плоскости столкновения ДВ струи отсутствуют. Для сравнения на рис. 7 приведена фотохронограмма разлета медной трубы $\varnothing 48 \times 4$ мм и длиной 260 мм в плоскости столкновения ДВ с конусным элементом ($b = 16$ мм, $\beta = 8^\circ$) без демпфирующей полости. Конусный элемент выполнен из меди; заряд ВВ ТГ30/70 инициировался одновременно с двух сторон. В этом случае отчетливо виден выход на поверхность трубы TS-струи.

Итак, в работе экспериментально показано, что установка конусного элемента на наружной поверхности корпуса в плоскости столкновения ДВ позволяет устранить кумулятивную струю, а установка конусного элемента с демпфирующей полостью — устранить сочетание кумулятивной струи и TS-струи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Г., Новиков С. А., Кочкин Л. И. Столкновение детонационных волн на поверхности инертного материала // Физика горения и взрыва. 1977. Т. 13, № 4. С. 600–606.

2. Chernyshev V. K., Demidov V. A., Skokov V. I. Helical explosive magnetic generator, having double-sided HE charge initiation // Megagauss Fields and Pulsed Power Applications / M. Cowan, R. B. Spilman (Eds). New York: Nova Sci. Publ. Inc., 1994. P. 533–534.
3. Иванов А. Г., Новиков С. А. Разрушение преград над областями столкновения детонационных волн // Физика горения и взрыва. 1980. Т. 16, № 3. С. 143–145.
4. А. с. 1493059. Взрывомагнитный генератор / Демидов В. А., Казаков С. А., Скоков В. И. // Открытия и изобретения. 1991. № 44. С. 260.
5. Кинеловский С. А., Тришин Ю. А. О расчете распада разрыва на границе ВВ — конденсированная среда // Физика горения и взрыва. 1984. Т. 20, № 1. С. 126–133.
6. Альтшулер Л. В., Брусникин С. Е., Кузьменков Е. А. Изотермы и функции Грюнайзена 25 металлов // ПМТФ. 1987. № 1. С. 134–146.
7. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Баканова А. А. и др. Нерегулярные режимы косоугольного столкновения ударных волн в твердых телах // ЖЭТФ. 1961. Т. 41, вып. 5. С. 1382–1393.

*Поступила в редакцию 27/III 1996 г.,
в окончательном варианте — 27/V 1996 г.*
