

УДК 681.518.54

Соболев В.В., д.т.н., проф., Пироженко А.А. студ. гр. ГБ-13-1м, ГВУЗ
«Национальный горный университет», г. Днепрпетровск

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ДАВЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА НА ПРЕГРАДУ В СЛУЧАЕ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА ПАДЕНИЯ ФРОНТА ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДА ВВ

В области динамического синтеза сверхтвердых материалов, специальных видов взрывных работ и буровзрывных технологий в горном деле определенный интерес вызывают заряды взрывчатых веществ (ВВ), конструкции которых предусматривают использование двух типов ВВ – иницирующего слоя, образованного высокоскоростным зарядом ВВ, и основным зарядом с меньшей скоростью детонации. Основная идея применения бислойных зарядов заключается в создании условий максимально возможного энерговыделения зарядом с меньшей скоростью детонации или получения большего механического эффекта принудительным линейным (или поверхностным) иницированием.

В [1] показано, что результаты упрочнения стальных изделий косыми ударными волнами существенно превосходят результаты, полученные в случае нагружения детонационным фронтом, скользящим под углом 90° . Исследуя косвенные признаки (изменения микроструктуры стальных образцов) как свидетельства изменения давления, авторы работы [2] отмечают, что при углах, превышающих 55° , давление возрастает скачкообразно, что, возможно, соответствует режиму нерегулярного отражения в продуктах детонации. Известно, что величина давления, например, в случае сжатия кумулятивной цилиндрической облицовки косым фронтом детонационной волны [3] увеличивается при уменьшении угла наклона фронта детонационной волны и достигает максимума в том случае, если угол наклона равен 0° :

$$P_0 = \frac{64}{27} P_H, \quad (1.1)$$

$$P_H = \rho_0 D^2 / (k + 1); \quad (1.2)$$

где ρ , D – начальная плотность и скорость детонации ВВ соответственно; k – показатель адиабаты продуктов взрыва; P_0 – давление, возникающее на границе ВВ-преграда.

При скольжении фронта детонационной волны под углом 90° давление на преграду будет выражаться зависимостью

$$P_0 = P_H = \rho_0 D^2 / (k + 1). \quad (1.3)$$

Таким образом, в случае скольжения фронта детонационной волны под углами от 0 до 90° давление на преграду P_0 будет лежать в диапазоне

$$\frac{64}{27} P_H \leq P_0 \leq P_H. \quad (1.4)$$

Промежуточные значения P_0 можно найти, используя зависимость

$$P_0 = P_H \left(1 + \frac{37}{27} \cos^2 \beta \right), \quad (1.5)$$

где β – угол между фронтом детонационной волны и поверхностью преграды. Выражение (1.5) нашло применение в расчетах величины давления на цилиндрическую кумулятивную оболочку, к внешней поверхности которой прилегает заряд ВВ. Причиной изменения угла наклона фронта детонации к поверхности оболочки является инертная линза, установленная на пути перемещения этого фронта. Недостаток такой схемы заключается в том, что величина угла наклона фронта детонации не является постоянной, а со временем увеличивается, при этом максимальная величина давления, действующая на оболочку (или преграду), возможна только в районе линзы.

На рис. 1 показаны схемы цилиндрических устройств обработки динамическим давлением, у которых заряд ВВ выполнен из двух слоев с различной скоростью детонации. Фронт детонационной волны распространяется под некоторым углом β , постоянным по всей длине цилиндрической оболочки или преграды, рис. 2. В случае цилиндрического кумулятивного заряда угол β задавался с помощью инертной линзы, и давление при этом уменьшалось от значения, определяемого выражением (1.5), до значения P_H (1.2), которое соответствует скользящему фронту под углом 90° .

В случае реализации схемы по рис. 1, а, б достаточно найти угол β через известные величины скорости детонации высокоскоростного ВВ – D_1 и низкоскоростного ВВ – D_2 ($D_1 > D_2$):

$$\cos^2 \beta = 1 - \frac{D_2^2}{D_1^2}. \quad (1.6)$$

Подставив (1.6) в выражение (1.5), получим

$$P_0 = \frac{\rho_{02} D_2^2}{k + 1} \left[1 + \frac{37}{27} \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right) \right], \quad (1.7)$$

где ρ_{02} – начальная плотность низкоскоростного ВВ

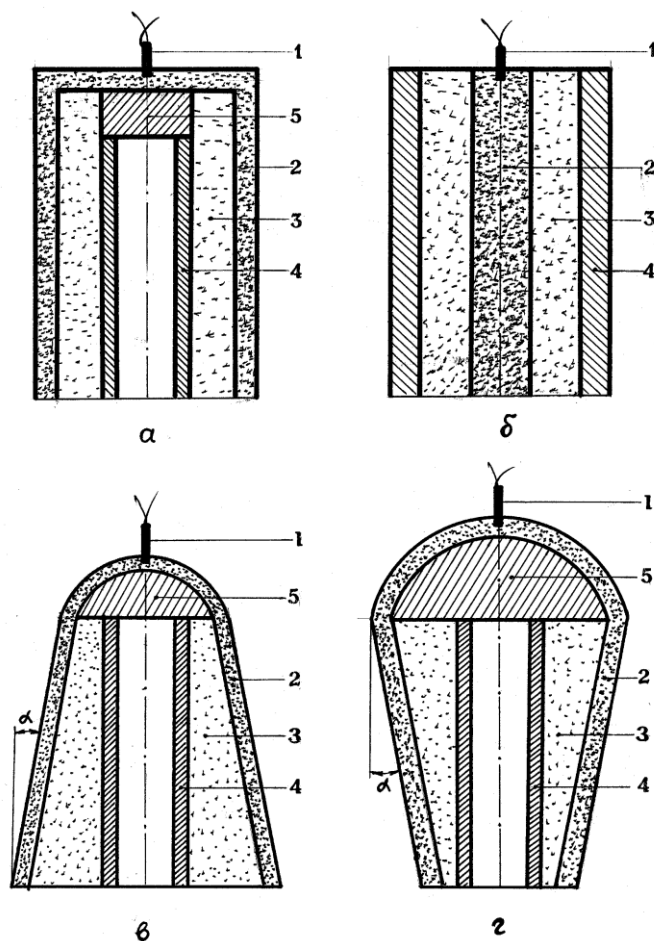


Рис. 1. Схемы устройств обработки динамическим давлением с использованием бислойных (комбинированных) зарядов ВВ:
 1 – детонатор; 2 – высокоскоростной слой ВВ; 3 – низкоскоростной слой ВВ;
 4 – оболочка (преграда); 5 – инертная линза

Возможны и другие варианты размещения бислойных (комбинированных) ВВ. С целью реализации более широкого диапазона углов β следует изменить угол наклона высокоскоростного заряда ВВ от нуля до некоторого значения α (рис. 1, в). В случае реализации подобных схем необходимо расчет давления проводить, выразив угол β через α – угол установки слоя высокоскоростного ВВ:

$$\cos^2 \beta = \left[\left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)^{1/2} \cdot \cos \alpha - \frac{D_2}{D_1} \sin \alpha \right]^2, \quad (1.8)$$

$$\beta = \alpha + \arcsin \frac{D_2}{D_1}. \quad (1.9)$$

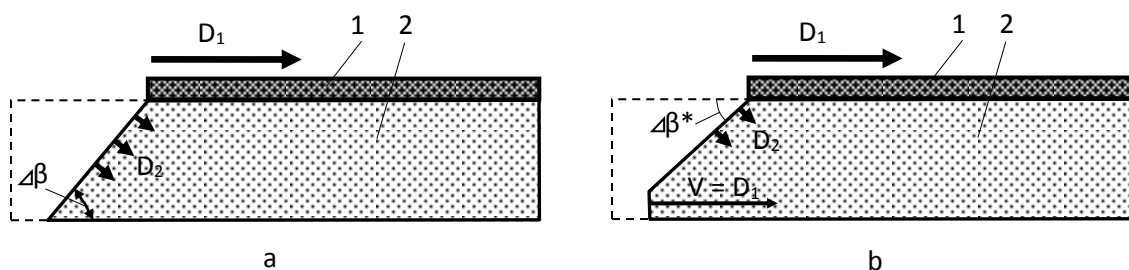


Рис. 2. Схема формирования наклонного фронта детонации (а) в низкоскоростном заряде ВВ (b); 1 – высокоскоростной заряд ВВ; 2 – формирование фронта головной (маховской) волны, скорость которого $v = D_1$; β^* – критический угол падения фронта детонационной волны, при котором нормально к поверхности преграды образуется фронт маховской волны

Тогда с учетом (1.8) оценить величину давления, действующего на поверхность преграды (оболочки) можно из выражения

$$P_0 = \frac{\rho_{02} D_2^2}{k+1} \left\{ 1 + \frac{37}{27} \left[\left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)^{1/2} \cos \alpha - \frac{D_2}{D_1} \sin \alpha \right]^2 \right\}. \quad (1.10)$$

При $\alpha=0$ приходим к выражению (1.7). Если в выражении (1.10) выполняется условие, при котором $D_1 = D_2 \sin \alpha$, то расчет давления следует вести по формуле (1.2). При $D_1/D_2 = \sin(\pi + \alpha)$ угол $\beta=0$.

Оценку величины давления на поверхности образца в случае реализации схемы нагружения по рисунку, з можно найти из выражения

$$P_0 = \frac{\rho_{02} D_2^2}{k+1} \left\{ 1 + \frac{37}{27} \left[\sin^2 \left(\arccos \frac{D_2}{D_1} + \alpha \right) \right] \right\}. \quad (1.11)$$

Связь угла β и α выразится следующим образом:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \left(\alpha + \arccos \frac{D_2}{D_1} \right). \quad (1.12)$$

Здесь всегда должно выполняться условие

$$\frac{\pi}{2} > \alpha + \arccos \frac{D_2}{D_1}, \quad (1.13)$$

поскольку в случае знака равенства между левой и правой частями неравенства (1.13) угол β будет равен нулю, а это значит, что реализуется нормальное соударение, при котором оценка давления производится с помощью (1.1).

Предложенная методика оценки давления продуктов взрыва на преграду в диапазоне углов $0 \dots 90^\circ$ является приближенной и не учитывает скачкообразных изменений давления в случае нерегулярного отражения детонационного фронта волны от поверхности преграды. В методике также не учитывается образование фронта головной ударной волны в случае столкновения детонационных волн при определенных (критических) углах, которые для каждой среды будут существенно отличаться, не обсуждается максимально возможная толщина слоя основного заряда ВВ, при которой может быть зафиксирован эффект повышенного энерговыделения. Фронт детонационной волны, взаимодействующий с преградой, рассматривается в плоскости как прямая линия, а в пространстве – как плоскость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом / А.А. Дерибас. – Новосибирск: Наука, 1980. – 220 с.
2. Тесленко А.Г. Взрывное упрочнение малоуглеродистой стали при различных положениях фронта детонации / А.Г. Тесленко, Р.П. Дидык, Л.В. Грязнова, В.Н. Легеза // Физика горения и взрыва. – 1974. – №1. – С. 132–136.
3. Физика взрыва / Под ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 704 с.