

УДК 621.7.04

**В.К. БОРИСЕВИЧ, Ю.А. НЕВЕШКИН***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ НА ЗАГОТОВКУ ПРИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ ВЗРЫВОМ**

Задача формирования внешней нагрузки подводного взрыва в ограниченном объеме жидкости еще далека от своего решения. Трудности аналитического решения этой задачи связаны с многофакторностью и многоэтапностью характера нагрузок от взрыва внутри бассейна. Практически все исследователи ограничиваются качественным рассмотрением картины на уровне предположений и экспериментальных результатов ввиду сложности построения математической модели, отражающей истинный механизм воздействия взрывного нагружения. Сделана попытка рассмотрения явлений влияющих на формирование внешней нагрузки для определения возможности управления ею. Исключая распространение волн разгрузки, имеется возможность управлять величиной внешней нагрузки в широком диапазоне.

**бассейн, объемная штамповка, взрыв, ударная волна, гидросток, газовый пузырь, отражение, схлопывание, кавитация**

### **Введение**

Ранее была показана возможность применения металлического бассейна для объемной штамповки (в том числе прессования, выдавливания и т.д.), а также оценен коэффициент полезного действия подобных установок [1, 4].

При взрыве заряда взрывчатого вещества (ВВ) внутри бассейна с водой происходят сложные явления, которые зависят от размеров бассейна, расстояния заряда от дна бассейна и свободной поверхности, а также отклонения заряда от оси бассейна.

### **1. Формулирование проблемы**

Опыт штамповки взрывом показал, что целый ряд практических и теоретических вопросов, не решенных на сегодняшний день, не играют существенной роли при изготовлении деталей мелкими сериями. Однако при освоении серийного и крупносерийного производства эти вопросы перерастают в серьезную проблему. Таким образом, несмотря на значительные успехи в области теории и практики взрывной штамповки, ряд вопросов связанных с формированием внешней нагрузки подводного взрыва в ограниченном объеме жидкости продолжает

оставаться серьезной проблемой, требующей дальнейшего решения.

В частности, речь идет о процессе объемной штамповки.

Для определения возможности управления внешней нагрузкой от взрыва в жидкости необходимо рассмотрение всех составляющих этой нагрузки и их влияния на ее формирование.

### **2. Решение проблемы**

Характер нагрузок внутри бассейна является многоэтапным и многофакторным [1]. На дно бассейна действует ударная волна, воздействие которой ослабляется волной разгрузки, возникающей при отражении ударной волны от свободной поверхности воды с некоторым запаздыванием. При расширении продуктов детонации ВВ на дно бассейна действует сила, значение которой зависит от глубины погружения заряда. Эта сила вначале положительна, а при перерасширении газового пузыря становится отрицательной в результате постепенного снижения давления в пузыре до нуля. Затем происходит схлопывание пузыря. В результате этого возникает интенсивная волна давления и происходит

повторное расширение пузыря. Этот процесс может повторяться многократно. Соответственно такому сложному действию внутренних сил будет осуществляться и перемещение бассейна в пространстве. Под действием ударной волны и положительной фазы давления в пузыре бассейн перемещается вниз. Это движение тормозится волной разгрузки и отрицательным давлением в пузыре. Поскольку последнее длительно во времени, его действие приводит к обратному движению бассейна. При схлопывании пузыря результирующий вектор силы направлен в сторону дна, что вызывает смещение бассейна вниз. Поскольку бассейн обладает значительной массой, его кинетическая энергия может достигать большой величины.

Рассмотренная модель нагружения является общепринятой. Практически все исследователи ограничиваются качественным рассмотрением картины на уровне предположений и экспериментальных результатов ввиду сложности построения математической модели, отражающей истинный механизм воздействия взрывного нагружения.

**2.1. Составляющие внешней нагрузки.** На первом этапе нагружения преобладает воздействие ударной волны. Нами рассмотрено воздействие гидротока и ударной волны, как составляющих единой волны давления, что справедливо в акустическом приближении. Выведенные выражения позволяют определить полный импульс силы прямой волны давления и саму величину ее силы [2].

Исследования воздействия волны давления на дно установки с учетом ее отражения от стенок показали, что при взрыве сферического заряда, расположенного по оси бассейна на определенном расстоянии от дна, первой достигает дна прямая волна, распространяющаяся затем от центра дна к стенке. С момента ее прихода в угол бассейна на дно начнут действовать отраженные от стенки волны, образующие первую волну нагружения, которая концентрично проходит через центр и снова достигает

стенки. Волна, отражающаяся от стенки выше по образующей бассейна, образует вторую волну нагружения, которая складывается с предыдущей. В дальнейшем этот процесс повторяется многократно.

Одной из особенностей распространения ударной волны, возникающей при взрыве заряда, находящегося на оси цилиндрического бассейна, является то, что вначале волна распространяющегося давления имеет сферическую симметрию, а после отражения от стенки на нее накладывается цилиндрическая симметрия.

Кроме того, волны отражаются также от образующегося при взрыве газового пузыря, от свободной поверхности, также происходит интерференция ударных волн.

Исследуя влияние свободной поверхности жидкости на поля давлений [3], рассмотрена сила образования кавитационных разрывов и волны разгрузки, определено давление на дно бассейна, создаваемое волной разрежения. Сделан вывод о том, что волны разгрузки значительно уменьшают результирующий импульс.

Особенности в формировании внешней нагрузки вносит и газовый пузырь. Эксперименты показали, что в нем содержится значительная доля энергии. Эти эксперименты также показали, что при наличии близко расположенных дна и свободной поверхности в течении первого периода расширения пузырь несколько всплывает, а затем быстро погружается ниже начального значения. Основное влияние стенок и дна состоит в увеличении периода колебаний пузыря.

При рассмотрении кавитационных явлений стало ясно, что предполагаемая ранее схема возникновения и развития кавитации при отражении ударной волны от свободной поверхности описывает явление лишь в самых общих чертах. В действительности кавитационный разрыв происходит не мгновенно и не по всей плоскости, а постепенно в виде отдельных пузырьков.

## Заключение

Для осуществления объемной штамповки энергией взрыва необходимо увеличить по сравнению с листовой штамповкой длительность прилагаемой к заготовке нагрузки. Установлено, что в предложенных установках [5] продолжительность нагружения дна ударной волной, а следовательно и заготовки, значительно больше длительности действия собственно ударной волны, т.е. происходит «растяжка» давления во времени, что приводит к увеличению стойкости оснастки и благоприятному распределению напряжений и деформаций в заготовке.

В исследуемых установках для объемной штамповки на их донную часть, инструмент и заготовку значительное влияние оказывают отраженные от стенок емкости волны давления, зависящие от размера емкости, а также, характера развития газового пузыря, его схлопывания, кавитационных явлений, интерференции волн, в целом определяющих особенности формирования внешней нагрузки.

Расчетами подтверждено существенное влияние на процесс нагружения дна схлопывающейся газовой полости.

Распределение давления на дне носит сложный интерференционный характер. Полученные зависимости позволяют определять распределение давления в плоскости дна в любой момент времени. Но в тоже время эти зависимости, ввиду сложности происходящих процессов, неудобны для определения силы и импульса.

Исключая распространение волн разгрузки, имеется возможность управлять величиной внешней нагрузки в широком диапазоне. Расчеты кавитационных явлений, происходящих у свободной поверхности, показали, что, чем меньше кавитационная прочность жидкости, тем глубже распространяется зона кавитации, которая может достигать плоскости заряда, и тем меньше отраженная отрицательная волна разгрузки («быстрая» волна), достигающая дна. Этот момент требует дальнейших исследований.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при организации технологических процессов объемной штамповки с целью получения максимального КПД.

## Литература

1. Применение гидровзрывного оборудования для объемной штамповки / А.В. Шкалова, В.К. Борисевич, П.И. Коваленко, А.У. Соломяный // Технологические системы. – 2001. – № 5 (11). – С. 68-70.
2. Оценка силового воздействия ударной волны на дно гидробассейна в технологических установках для объемной штамповки / В.К. Борисевич, П.И. Коваленко, А.У. Соломяный, А.В. Шкалова // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2002. – № 11. – С. 3-7.
3. Борисевич В.К., Коваленко П.И., Шкалова А.В. Оценка влияния свободной поверхности на параметры нагружения дна в гидровзрывных установках // Авиационно-космическая техника и технология: – 2005. – № 7 (23). – С. 171-181.
4. Шкалова А.В. Определение КПД и других параметров штамповки взрывом по новой схеме нагружения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 1999. – № 11. – С. 23-24.
5. Шкалова А.В. Использование оборудования для импульсной металлообработки для объемной штамповки // Проблемы створення нових машин і технологій: Наукові праці Міжнар. наук.-техн. конф. Кременчук (21-22 травня 2002); / Вісник Кременчуцького Державного політехнічного університету. – 2002. – Вип. 3 (14). – С.144-145.

*Поступила в редакцию 13.05.2008*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Я. Мовшович, ГП «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», Харьков.