

Ю.А. Невешкин

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», Украина*

## ПРОЦЕСС ВЗРЫВНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

Сделан обзор результатов исследований связанных с использованием энергии взрыва бризантных взрывчатых веществ в стационарном бассейне для объемной штамповки, проводимых в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского "ХАИ" ("МИНТ ХАИ"). Предложена модифицированная экспериментальная установка для последующих испытаний.

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

В работе [1] для определения величины и характера результирующих сил, действующих на дно бассейна, периода пульсации газового пузыря, а также амплитуды и частоты колебаний фундамента использовалась экспериментальная установка (рис. 1).

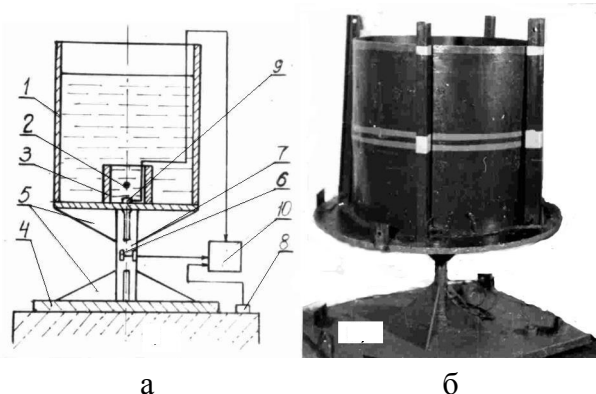


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид установки (б)

Установка представляла собой цилиндрический бассейн радиусом 0,35 м и высотой 0,7 м с передающей средой, зарядом 2 и оснасткой 3. Между дном бассейна и опорной фундаментной плитой 4 размещалась силоизмерительная вставка 7, оснащенная датчиками 6. К силоизмерительной вставке приварены косынки 5, усиливающие днище и соединяющие ее с

опорной плитой, которая в свою очередь, крепилась к фундаментному блоку. Фундаментный блок выполнен из железобетона в виде куба с размерами  $1 \times 1 \times 1$  м.

При исследовании характера и величины результирующих сил, действующих на дно бассейна, установлено, что основной вклад в величину результирующей силы от действия ударной волны вносят отраженные волны от боковых стенок. Величина результирующей силы гидротока от газового пузыря соизмерима с нагрузкой от ударной волны и зависит от столба жидкости над зарядом. При наличии пульсации газового пузыря результирующая сила от его схлопывания может быть больше чем от действия ударной волны и гидротока [1].

На рис. 2 приведена осциллограмма зависимости деформации от времени, записанная при помощи датчика 6.

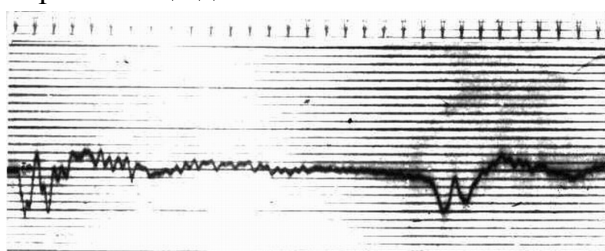


Рис. 2. Осциллограмма зависимости деформации от времени

Дальнейшие теоретические исследования показали, что стационарный бассейн, наполненный передающей средой (водой) можно применять для объемной штамповки (в том числе прессования, выдавливания и т.д.) [2]. В экспериментах использовалась схема непосредственного воздействия днища бассейна на образец через пуансон, т.е. контактного силового воздействия на объект нагружения без разгона бассейна (рис. 3).

Размеры бассейна аналогичны представленному на рис. 1. Емкость имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении (вдоль оси бассейна) по направляющим. Между днищем бассейна и фундаментом располагался технологический узел, обеспечивающий действие нагрузки по оси образца и реализующий сложную схему напряженно-деформированного состояния, в которой растекание металла в направлении от центра ограничено боковыми поверхностями закрытого штампа. В

этом случае в заготовке возникают значительные радиальные удельные давления и металл вынужден перемещаться в осевом направлении. Такая схема требует особенно больших удельных давлений деформирования.

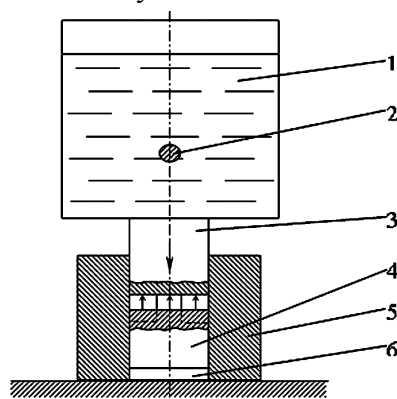


Рис. 3. Экспериментальная установка:  
1 – бассейн; 2 – заряд; 3 – пуансон; 4 – образец;  
5 – обойма; 6 – вкладыш

Образец 4 помещался внутри металлической обоймы 5, препятствующей его деформации в радиальном направлении. Под образцом установлен вкладыш 6, который не позволяет металлу образца выдавливаться в щели между обоймой и основанием. В экспериментах моделировалась панель с фасонными ребрами - выступами. При взрыве заряда массой 2 г на поверхности образца образовывались ребра высотой 7,2 мм. Равномерность деформации, качество поверхности и разностенность ребер удовлетворительны (рис. 4, а).

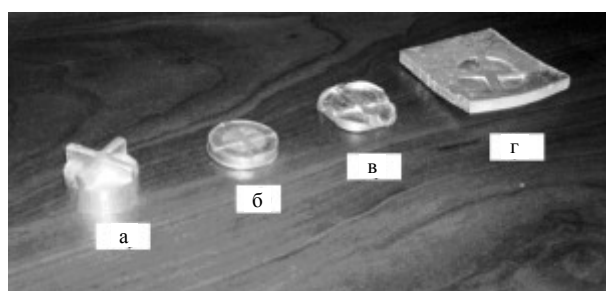


Рис. 4. Образцы после деформирования

При использовании материала АМц, имеющего более высокие прочностные характеристики, ребра получались качественные, но значительно

меньшей высоты (рис. 4, б) при том же заряде. Изменение напряженно-деформированного состояния за счет разрешения радиального движения металла изменяло механизм образования ребер. Выдавливание практически отсутствовало, а формирование ребер происходило только за счет осадки материала, что приводило к неравномерной деформации и даже к разрушению образца (рис. 4, в), а также к короблению листа (рис. 4, г).

Также авторами [2] был оценен коэффициент полезного действия подобных установок, оценочное значение КПД имело величину 18,6%.

Дальнейшие исследования показали, что КПД установки зависит от условий взрывания. Так, при изменении расстояния заряда от дна от 200 мм до 100 мм КПД уменьшается до 14,2%, что говорит о необходимости оптимизации параметров при разработке технологических процессов.

Проверка предложенного упрощенного расчета общего КПД установки, изготовленной по схеме (рис. 5) осуществлялась и при простой осадке образцов [3].

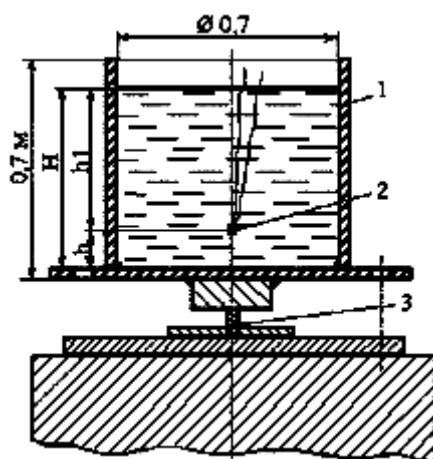


Рис. 5. Установка для осадки и деформирования модельных образцов:  
1 – бассейн; 2 – заряд БВВ; 3 – деформируемый образец

В бассейн (размеры бассейна аналогичны представленному на рис. 1) заливали различное количество воды, уровень которой составлял  $h + h_1$ . Заряд БВВ 2 в виде электродетонатора ЭД8 размещали на различных расстояниях  $h$  от дна бассейна. Деформируемый образец 3 диаметром  $d_0 = 20$  мм и отношением  $\frac{l_0}{d_0} = 1,4$  ( $l_0$  – высота образца) из алюминиевого

сплава Д1 ( $\sigma_{\varepsilon} = 325$  МПа) размещен под выступом центральной части бассейна. Максимальная высота столба жидкости в емкости не превышала 0,6 м. На рис. 6 представлены образцы, осажденные при различных значениях  $h$  и  $h_1$ .

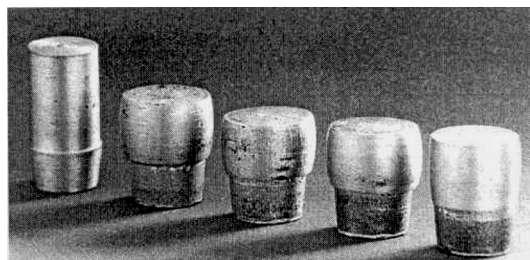


Рис. 6. Образцы из алюминиевого сплава Д1, осажденные на установке по схеме, представленной на рис. 5

В работе [4] приведен метод оценки силовых характеристик технологических установок для объемной штамповки на базе взрывного бассейна. Оценка выполнена с использованием приближенной модели распространения ударной волны в установке, что позволяет оценить только основные закономерности нагружения в процессе штамповки.

Для более тщательного анализа технологического процесса штамповки возникла необходимость в более точных моделях, максимально учитывающих особенности физических процессов, происходящих во взрывных бассейнах. Дальнейшие исследования велись по направлению определения результирующих сил от ударных волн, действующих на дно бассейна, используемого для объемной штамповки [5]. Предложенная методика расчета уже может учитывать особенности физических процессов, происходящих при взрыве зарядов в установках ограниченных объемов. Полученные теоретические зависимости позволяют рассчитать силу, действующую на дно бассейна, для всей положительной фазы давления в ударной волне с учетом основных особенностей распространения волны в цилиндрической емкости в условиях развития взрывных процессов. Расчетные графики силы позволяют производить их аппроксимацию с целью использования при расчете процессов обработки материалов. Универсальность полученных формул позволяет вести оптимизацию силовых характеристик и параметров технологических установок.

При взрыве в ограниченном пространстве, на преграду (например, на донную часть емкости) воздействуют отраженные от стенок и свободной поверхности ударные волны, а также такие явления, которые несут в себе силовое воздействие, как схлопывание газового пузыря и его пульсация, кавитация, возникающая у свободной поверхности и у дна емкости, волны разгрузки, зависящие от формы емкости и ее величины, интерференция и др. факторы [ 6 ].

В работе [7] рассмотрена расчетная модель движения гидровзрывной емкости при взрыве в ней БВВ с учетом взаимодействия установки с деформируемой заготовкой. Исследованы характер и величины результирующих сил, действующих на упругую заготовку. Показано, что объект нагружения и установка представляют собой единую колебательную систему, а характер нагружения объекта зависит от ее частотных характеристик. Получено приемлемое соответствие теоретических и экспериментальных данных. Исследования проводились на установке представленной ранее на рис. 1.

Проделанный обзор показывает, что еще многие вопросы взрывного нагружения объемных деталей рассмотрены с большим количеством допущений и упрощений из-за малой изученности. Некоторые вопросы не отражены в существующей литературе.

С целью дальнейшего исследования взрывной объемной штамповки с использованием энергии взрыва БВВ в стационарном бассейне была создана экспериментальная модельная установка. За основу был взят бассейн, используемый в рассмотренных выше установках (рис. 1, 3, 5).

Модельная экспериментальная установка (рис. 7) представляет собой бассейн 1 в виде цилиндра диаметром и высотой по 0,7 м, заполненный передающей средой (вода), в которой помещен заряд бризантного взрывчатого вещества (БВВ) 2. Бассейн может перемещаться в вертикальном направлении под действием возникающих от взрыва БВВ нагрузок или собственного веса по колоннам 3 через втулки 4. Днище бассейна усилено стальным цилиндром 5 диаметром 0,14 м и высотой 0,035 м, а также восьмью, равномерно расположенными по окружности и расходящимися в радиальном направлении от этого цилиндра, элементами из проката квадратного сечения 6. Три колонны расположены равномерно по окружности

и крепятся на столе 7. Между столом и опорной фундаментной плитой 8 размещена силоизмерительная вставка 9, оснащенная датчиками 10. К силоизмерительной вставке приварены косынки 11, усиливающие стол и соединяющие его с опорной плитой, которая, в свою очередь, крепится к фундаментному блоку 12. Блок выполнен из железобетона в виде куба с размерами 1x1x1 м.

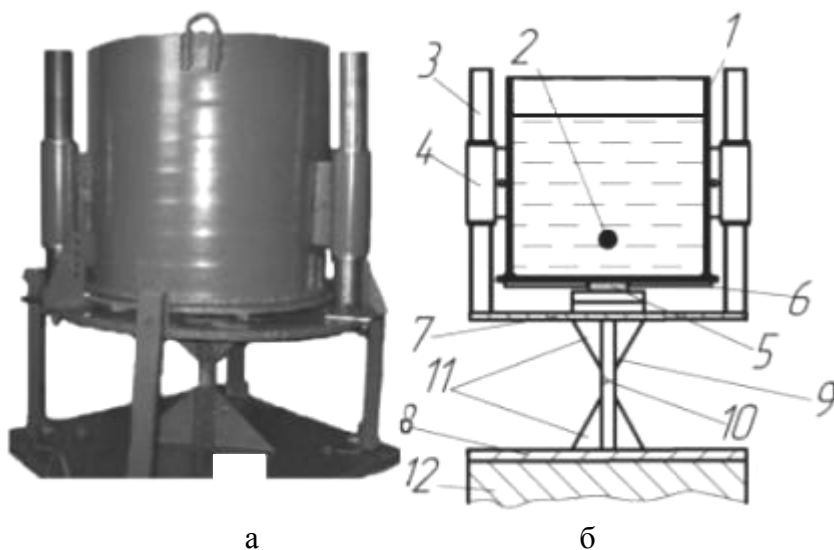


Рис. 7. Модифицированная экспериментальная установка:  
а – внешний вид; б – схема

Такая установка характеризуется лучшей центрируемостью бассейна, относительно стола, возможностью последующей доработки, фиксации бочки на нужной высоте и т.д.

Первоначально планируется установить зависимость КПД процесса от высоты подъема бочки (зависимость первоначального расстояния между пуансоном и деталью), определить оптимальные параметры технологического процесса получения отдельных объемных заготовок (значения веса заряда и высоты его расположения в бочке).

## Литература

1. Соломяный А.У., Панченко В.Е., Московец В.И. Экспериментальное определение внешней нагрузки гидровзрыва на элементы оборудования //

---

Импульсная обработка металлов давлением: Сб. научн. тр. – Х.: ХАИ, 1986. – Вып. 14.–С. 104-109.

2. Шкалова А.В., Борисевич В.К., Коваленко П.И., Соломяный А.У. Применение гидровзрывного оборудования для объемной штамповки // Технологические системы. – К.: НИАТ, 2001. – № 5 (11).– С. 68-70.

3. Шкалова А.В. Определение КПД и других параметров штамповки взрывом по новой схеме нагружения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением (Москва). – 1999. – № 11. – С. 23-24.

4. Борисевич В.К., Коваленко П.И., Соломяный А.У, Шкалова А.В. Оценка силового воздействия ударной волны на дно гидробассейна в технологических установках для объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением (Москва). – 2002. – № 11.– С. 3-7.

5. Борисевич В.К., Коваленко П.И., Шкалова А.В., Нечипоренко А.В. Расчет осевой нагрузки от ударной волны в гидровзрывной камере установки для объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением (Москва). – 2004. – № 9.– С. 3-5.

6. 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.

7. Борисевич В.К., Коваленко П.И., Шкалова А.В., Невешкин Ю.А. Модель движения гидровзрывной емкости при взрыве бризантного взрывчатого вещества // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением (Москва). – 2006. – № 12.– С. 28-32.

*Поступила в редакцию 12.05.2007*

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