

А.П. Брагин

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

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ШТАМПОВКА НА ПРЕСС-ПУШКАХ, КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

В статье представлен обзор оборудования (пресс-пушек) для газодинамической штамповки. Приведены качественные и количественные описания процессов при получении деталей для производственных предприятий.

пресс-пушка, порох, снаряд, ствол, заготовка, деталь

В 1967 г. на Всемирной выставке «Экспо-67» в г. Монреаль (Канада) впервые была продемонстрирована оригинальная штамповочная машина гидроударного действия на пороховом энергоносителе, получившая название «пресс-пушка». Эта модель марки ПП7 сравнительно малой мощности (0,8 кДж) давала полное представление о технологических возможностях нового направления обработки материалов давлением и его несомненной перспективности.

Автором этого направления – как непосредственно способа гидродинамической штамповки (а.с. СССР №150084), так и устройств для его осуществления, был Юрий Георгиевич Мацукин, научный сотрудник Харьковского авиационного института (ныне Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»), аспирант Р.В. Пихтовникова.

До 1991 г. по проектам и при авторском надзоре специалистов ХАИ было реализовано в металле и эксплуатировалось на производстве 26 установок для гидродинамической штамповки 17-ти модификаций с различными технико-энергетическими характеристиками и мощностью от 10 до 55 кДж (табл. 1). По ориентировочным подсчетам, на них изготавливалась номенклатура деталей около 350 наименований, в том числе серийное производство касок для летчиков и головных обтекателей тактических ракет. Рис. 1 дает общее начальное представление об объекте последующего

описания.



Рис.1. Образцы некоторых промышленно изготовленных деталей

После известной демонстрации установки ПП7 на «Экспо-67» при сопровождении ее описанием принципиальных схем и типовых технологических процессов гидродинамическая штамповка получила распространение в виде целого ряда новых оригинальных процессов, оборудования, теоретических разработок, выполненных, кроме ХАИ, также другими творческими коллективами, например, ФТИ АН Белоруссии, Ижевским механическим институтом, Японской фирмой «Таминаго Хироси» и др.

Среди отечественных предприятий, способствовавших освоению и утверждению новой технологии, особая роль принадлежит Киевскому авиационному научно-техническому комплексу «Антонов» и Николаевскому южно-турбинному заводу «Заря».

Непосредственный вклад в теоретические, конструкторские и технологические работы по реализации этого нового направления в металлообработке внесли специалисты ХАИ – Мацукин Ю.Г., Брагин А.П., Бычков С.А., Крыжный Г.К., Полтарушников С.А., Родько С.Я. и другие.

Суть проблемы состоит в следующем.

В практике листовой штамповки давно известны и достаточно широко

используются такие способы обработки давлением, в которых инструментом служит жидкостная или эластичная несжимаемая субстанция (передающая среда). Этой передающей средой заполняется замкнутый объем, ограничиваемый поверхностями объекта обработки и толстостенными элементами, образующими камеру, называемую *формующей камерой*. Сама передающая среда, обычно — вода, которая и передает давление нагрузки на объект обработки, называется *формующей жидкостью*. Рабочее давление в ней создается специальной насосной станцией.

Однако, получение и поддержание в течение рабочего цикла необходимого уровня *статического* давления, потребного для формообразования и калибровки детали (в пределах даже нескольких МПа) представляет собой сложную техническую задачу. Прежде всего, это необходимость в дорогостоящих насосно-распределительных гидравлических системах для создания, аккумулирования, управления и коммутации гидротоков высокого давления по определенной программе. Но еще более сложные проблемы возникают при создании технологической оснастки с неизбежно необходимыми устройствами и элементами специальных уплотнений в местах контактов заготовки с деталями штампового блока и элементов технологической оснастки между собой.

Известно, что потребность удержания утечек рабочей жидкости при возрастании ее давления на один порядок более чем вдвое увеличивает трудоемкость изготовления и стоимость оснастки. Прогрессивно увеличивается также сложность, стоимость, уровень технического обслуживания и эксплуатационные расходы для гидравлических систем со статическим давлением свыше 10 МПа.

В 1961 г. Мацукиным Ю.Г. был предложен новый способ создания давления в формующей жидкостной камере — импульсный. Этот способ (рис. 2) заключается в том, что для генерирования высокого давления в жидкости ($W_{ko} + W_3$), находящейся в *неуплотненной* камере (поз. 2, 3, 4), ее (жидкость) нагружают ударом быстролетящего, кинематически свободного твердого тела-снаряда (поз. 5). Снаряд, по достижении им заданной скорости v_g в конце разгонного участка ($50...250 \text{ мс}^{-1}$), попадает в верхнюю часть формующей камеры (переходник ствола), представляющую собой

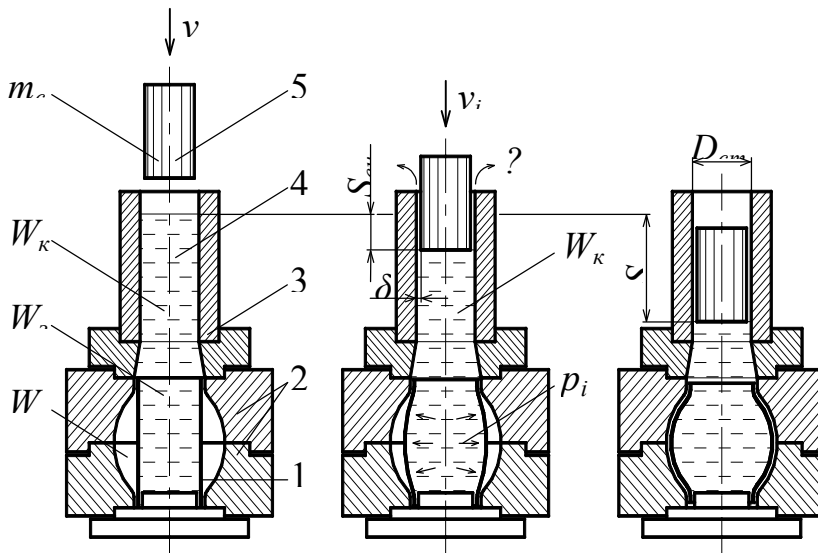


Рис. 2. Принципиальная схема технологического процесса гидродинамической штамповки:

1 – заготовка; 2 – оснастка; 3 – переходник ствола;
4 – передающая среда; 5 – снаряд

толстостенный цилиндр с внутренним диаметром « D », равным диаметру снаряда с минимальным допуском. Протяженность цилиндрического канала переходника ствола определяется для каждого процесса в зависимости от требуемого объема вытесняемой жидкости.

При ударе снаряда по поверхности жидкости и последующем ее вытеснении из канала переходника ствола за счет кинетической энергии движения снаряда ΔW_i , истечение жидкости через все имеющиеся в конструкции зазоры δ и др. встречает громадное гидравлическое сопротивление. Создается, за счет высоких скоростей проталкивания жидкости через зазоры, так называемый *гидравлический затвор*, и в камере развивается давление до нескольких сотен МПа.

Полученный таким образом импульс давления жидкости с продолжительностью от 0,1 до 0,001 с используется для воздействия на обрабатываемый материал в различных, в основном штамповочных, технологических операциях.

Физическая природа разгона снаряда может быть различной.

Принципиально источниками энергии разгона снаряда могут быть различные энергоносители.

Хронологически первыми были созданы установки на пороховом энергоносителе.

Известно, что использование пороха имеет ряд преимуществ перед другими энергоносителями - это предельно простая организация энергетического процесса (превращение потенциальной химической энергии порохового заряда в кинетическую энергию движения снаряда), компактность заряда, простая конструкция системы перезарядки и производства выстрела, высокая стабильность метательных характеристик.

Схема энергообмена в пресс-пушках на пороховом энергоносителе (рис. 3) такова.

Энергия горения пороха в виде газа преобразуется в энергетическом узле I при расширении в канале ствола 4 в кинетическую энергию снаряда, которая, при ударе его по жидкости в переходнике ствола трансформируется в работу сжатия жидкости. В гидравлической формующей камере возникает высокое давление, под действием которого осуществляется штамповка заготовки по матрице. Таким образом, энергия давления жидкости преобразуется в энергию пластического деформирования материала заготовки.

Весь этот многоступенчатый процесс энергообмена сопровождается рядом *побочных* явлений: потерями энергии при прорыве газов в зазоры между снарядом и стволом и зазоры казенной части; потерями, обусловленными неполным сгоранием и неполным расширением продуктов горения пороха, потерями на работу сжатия жидкости и т.д.

Исследования показали следующее:

– импульсное давление, создаваемое в формующей камере пресс-пушки, является наиболее благоприятным для формоизменяющих операций листовой штамповки, т.к. при реализуемых в данном случае скоростях деформации наиболее полно используются пластические возможности материала заготовки;

– способ гидродинамической штамповки дает возможность задавать и такой импульс, который при малых начальных скоростях нагружения заготовки может обеспечить высокое калибрующее давление и скорость деформации в конце процесса;

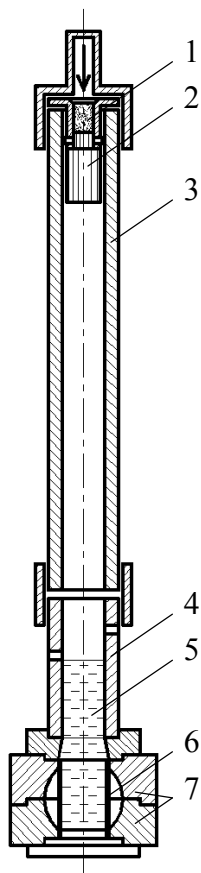


Рис. 3. Схема пресс-пушки:

- I – энергетический узел; II – технологический узел;
1 – пороховой заряд; 2 – снаряд; 3 – ствол;
4 – переходник ствола; 5 – передающая среда;
6 – заготовка; 7 – оснастка

– схема энергетического процесса позволяет регулировать внешнюю нагрузку по величине располагаемой энергии снаряда, по скорости его соударения с жидкостью, по времени и форме (характеру) нагружающего импульса.

Поле давления в формующей камере может быть организовано по заданному закону путем ориентации динамических гидротоков и даже использованием эффекта волновых явлений, что, к примеру, невозможно при более продолжительных нагрузках.

Величины давлений, достигнутых в формующих камерах пресс-пушек без применения специальных приемов составляют для разных установок $3 \dots 5 \cdot 10^2$ МПа; при этом *в камерах не предусмотрено (не имеется) никаких уплотнительных устройств.*

Благодаря вышеперечисленным и некоторым другим особенностям процессов ГДШ, обуславливается возможность обработки нахолодно труднодеформируемых и высокопрочных сплавов, а отштампованные детали имеют высокую точность и чистоту поверхности.

Стойкость инструмента (матриц и пуансонов), используемого при ГДШ, в несколько раз превышает срок службы аналогичной штамповкой оснастки для традиционных процессов инструментальной штамповки благодаря равномерному распределению нагрузки и минимизации контактных напряжений.

Перечисленные выше особенности и преимущества гидродинамической штамповки позволили освоить довольно большой спектр технологического применения ее в машиностроении.

В числе освоенных производством процессов листовой штамповки деталей габаритами до 600 мм (рис. 1) можно назвать:

- растяжку, раздачу, формовку и калибровку трубчатых заготовок;
- вытяжку, формовку, калибровку и оформление сложного рельефа на листовых пространственных оболочках;
- формовку и калибровку обечаек двойной кривизны;
- сборочные операции путем создания неразъемных подвижных и неподвижных соединений;
- групповую беспуансонную пробивку точных близкорасположенных отверстий на плоских и пространственных заготовках;
- вырубку точных тонкостенных деталей с величиной перемычек между окнами, соизмеримых с толщиной заготовки;
- обжим тонко- и толстостенных трубчатых заготовок;
- штамповку крутоизогнутных патрубков с внутренним радиусом изгиба, соизмеримым с радиусом трубчатой заготовки;
- калибровку пористых оболочек из металлокерамических материалов.

Объективные особенности технологий ГДШ, подтверждены многолетним производственным опытом. В их числе:

-
- универсальность;
 - возможность изготовления сложных деталей из листовых заготовок вместо литых, кованных, механообработанных и сварных;
 - высокая точность получаемых деталей и узлов;
 - относительно низкая стоимость штамповой оснастки;
 - простота и технологичность оборудования при высоких относительных энергетических показателях;
 - возможность быстрой и простой переналадки при переходе на другой технологический процесс.

Выбор пороха изначально в качестве энергоносителя для ствольных установок гидроударного типа не был случайным. Порох обеспечивает высокую удельную энерговооруженность пресс-пушки. К достоинствам данного привода также следует отнести энергетическую автономность установки.

Применение высококалорийного монокомпонентного твердого топлива, обладающего стабильными метательными свойствами, обеспечивают достаточно простую организацию, регулировку и дозировку энергетики процесса. Однако, использование сыпучего легковоспламеняющегося материала вынуждает вводить дополнительную операцию снаряжения патронов, и создавать довольно сложные механические системы перезарядки. Огне- и взрывоопасность пороха вынуждает обеспечивать особые условия для его хранения, повышает требования к квалификации персонала.

Все это вызывает необходимость поиска новых альтернативных источников энергии, удовлетворяющих требованиям ГДШ, главным и самым сложным из которых является обеспечение высоких скоростей снаряда ($100 \dots 200 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$).

Основные принципиальные различия освоенных установок заключаются в компоновочной схеме машины в целом, силовой схеме рамы (лафета), кинематической схеме технологической зоны, конструктивном оформлении энергетического узла. Характерные параметры и отличительные особенности некоторых моделей эксплуатируемых пресс-пушек приведены в табл. 1.

Характерные параметры и отличительные особенности некоторых моделей эксплуатируемых пресс-пушек

Модель пресс-пушки	Калибр ствола, мм	Заряд пороха, г	Запас жидкости в камере, см ³	Размер техн. блока	Располагаемая энергия, кДж	К-во колонн
ПП2	60	20	750	600x800	8	6
ПП5	50	15	500	450x250	10	4
ПП6	60	16	600	600x300	25	4
ПП7П	35	8	350	300x250	0,8	2
ПП8	60	16	600	500x300	31	2
ПП9МУ	80	40	2000	600x800	80	4
ПП11М	80	35	1400	650x570	55	4

На рис. 4 приведен общий вид пресс-пушки модели ПП11МВ качестве иллюстрации одного из промышленных образцов оборудования.

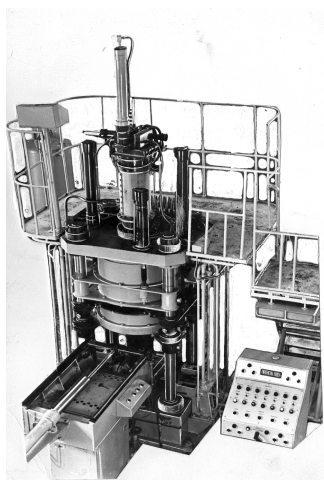


Рис. 4. Пресс-пушка ПП11М

По разработкам в области гидродинамической штамповки получено свыше 150 авторских свидетельств на изобретения, опубликовано около 60 научных трудов, защищено 11 кандидатских диссертаций, отдельные материалы вошли в две докторские диссертации.

В настоящее время проводятся разработки новых проектов энергетического обеспечения процессов ГДШ на экологически и социально безопасных энергоносителях.

Поступила в редакцию 12.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Лобанов, завод им. Малышева, Харьков.