

УДК 621.7.044

А.П. БРАГИН, В.Е. ЗАЙЦЕВ, А.П. МЕЛЬНИЧУК, С.А. ПОЛТАРУШНИКОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ОСНОВАНИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОДОЛЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ОБЛАСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Способы гидродинамической штамповки применяются в высокотехнологических отраслях промышленности – авиационной, ракетно- и судостроительной. Главным достоинством способа является его простота, высокая энерговооруженность – до 100 кДж при достижении в формующей, не имеющей специальных уплотнений, камере давлений до 500 МПа. Применение технологических процессов гидродинамической штамповки позволило решить ряд производственных проблем в условиях опытного и серийного производства. Практические результаты внедрения процессов гидродинамической штамповки доказали эффективность, универсальность, перспективность, полезность, а в некоторых случаях и незаменимость этого технологического направления. Поэтому в современных условиях возрождение и дальнейшее развитие технологий и оборудования гидродинамической штамповки представляется целесообразным и перспективным.

**гидродинамическая штамповка, комплекс технологических процессов, возможности, перспектива**

В октябре 2007 г. состоялась международная научно-техническая конференция “Современное состояние использования импульсных источников энергии в промышленности” (место проведения – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского). Как одно из возможных перспективных направлений импульсной обработки материалов давлением была определена гидродинамическая штамповка (ГДШ) на пресс-пушках, основные положения которой в достаточной мере ем-

ко описаны в одной из статей журнала упомянутой конференции [1].

В период активного развития и внедрения в промышленное производство этого способа обработки материалов давлением (1964...1991 г.г.) предприятиями авиационной, ракетно- и кораблестроительной промышленности только в технологическом плане было освоено большое количество разнообразных техпроцессов штамповки листовых деталей; некоторое представление о них дает рис. 1.



Рис. 1. Образцы некоторых промышленно изготавливаемых деталей

Изначально способ гидродинамической обработки материалов, изобретенный в ХАИ, и предполагал реализацию чисто штамповочных операций, преимущественно из листовых заготовок замкнутой формы, например, формовку радиально-гофрированных деталей из труб. При этом широкая номенклатура изделий образовалась за счет разнообразия геометрических форм и размеров деталей и материалов, из которых они изготавливались.

Но далее, по мере накопления производственного опыта, изучения спроса, научного анализа уже реализованных технических вариантов этого развивающегося технологического направления, а также целенаправленного эмпирического поиска, сфера возможных областей практического использования основных принципов и преимуществ гидродинамического воздействия на объекты нагружения существенно расширилась (рис. 2).

Однако серьезным препятствием в практике внедрения таких новых высокоэффективных технологий металлообработки явилось отсутствие ком-

плексных и всесторонних научно-обоснованных рекомендаций и целенаправленных исследований, позволяющих учесть и использовать, в том числе, и их специфические особенности.

Напомним, что принципиальная сущность ГДШ заключается в преобразовании кинетической энергии быстро летящего твердого тела-снаряда в потенциальную энергию сжатой жидкости, под воздействием которой деформируется заготовка [2, 3].

Основные определяющие параметры процесса гидродинамической штамповки:

- скорость снаряда в момент удара о поверхность жидкости 50...250 м/с;
- продолжительность импульса давления жидкости  $10^{-4} \dots 10^{-2}$  с;
- достижимое давление в камере 300...500 МПа.

Кратковременность процесса соответствует такому режиму скоростного деформирования, при котором пластические характеристики штампуемых материалов несколько повышаются по сравнению со статическими показателями. В ряде случаев поло-

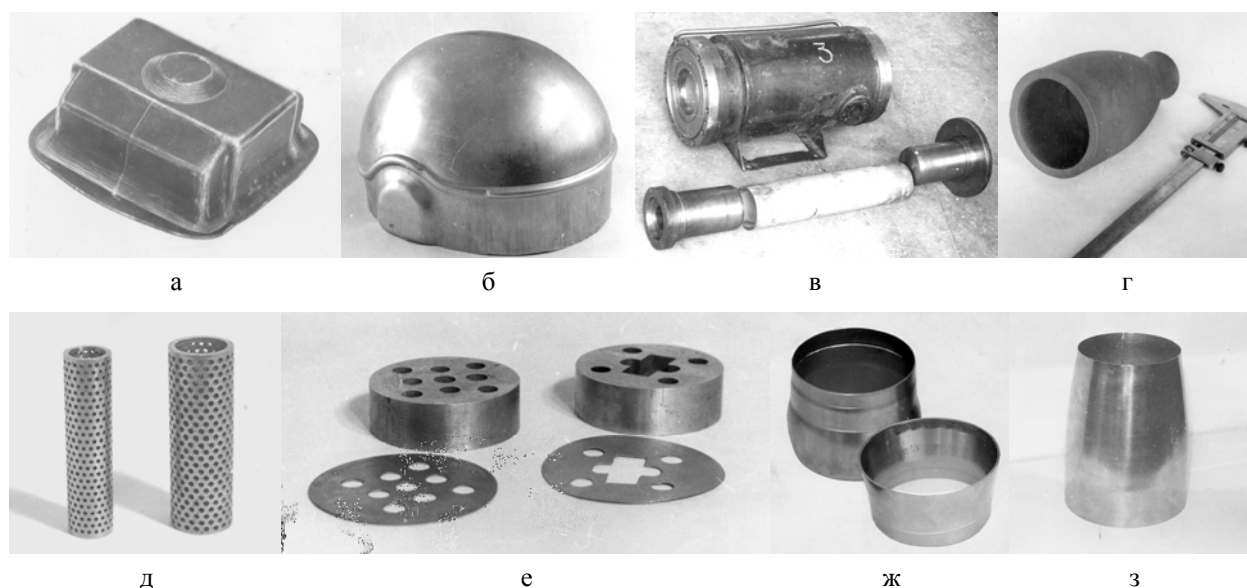


Рис. 2. Образцы реализации некоторых технологических операций гидродинамической штамповки:

- а – штамповка-вытяжка;
- б – рельефная формовка и калибровка деталей из оболочек;
- в – сборочные операции;
- г – обжим толстостенной трубы;
- д – групповая пробивка близкорасположенных отверстий;
- е – беспуансонная пробивка;
- ж – формовка особотонкостенных патрубков;
- з – штамповка обечаек симметричной и ассиметричной формы

жительную роль играют инерционные силы материала заготовки и режим гидродинамического трения. В результате обуславливается возможность холодной обработки изделий из трудно-деформируемых и высокопрочных сплавов, а отштампованные детали имеют высокую точность и чистоту поверхности.

Среди других преимуществ особое место занимает отсутствие необходимых в организации высокого давления в формирующей камере специальных уплотнительных устройств. “Запирание” зазоров в конструкции камеры (технологических и функционально обусловленных) при импульсном нагружении жидкости происходит самопроизвольно вследствие резкого возрастания гидродинамического сопротивления при высоких скоростях ее истечения [4].

Рассмотрим основные объекты возможного направления необходимых исследований, которые ранее были лишь обозначены фрагментарными апробациями и могут стать полезными в современной перспективе. Конечной целью их выполнения является разработка и создание комплекса математических моделей проектирования технологических процессов и отдельных операций ГДШ, которые могли бы быть включены в интегрированное пространство единого информационного пространства современного специализированного производства.

Объектами как ранее исполненной, так и дальнейшей перспективной проработки под обозначенным углом зрения должны стать:

1. Создание новых технологических операций, таких как штамповка-вытяжка, рельефная формовка, калибровка, обжим, разделительные операции и т.п., как при использовании плоских, так и пространственных листовых заготовок.

2. Расширение поля операций штамповки воздействием на объекты нагружения не только жидкой передающей средой, но и эластичным материалом, например, гидропластом, а также через инструментальные пуансоны.

3. Использование процессов ГДШ вместо традиционных методов изготовления аналогичных изделий с целью повышения адресного качества конечного продукта, а также получения другого положительного эффекта, например, улучшения экономических показателей.

4. Разработка и создание методов и аппаратуры для исследования поведения материалов и их механических испытаний при высоких скоростях нагружения.

5. Математическое моделирование реализуемых технологических операций и создание на его основе методик проектирования конкретных техпроцессов.

Поясним некоторые вышеприведенные позиции конкретными примерами с указанием реального эффекта.

Изготовление обечаек оживальной формы (рис. 2, з) из титановых сплавов позволило более чем в 10 раз снизить энергозатраты на их изготовление по сравнению со штамповкой их на прессах разжимными пуансонами с последующей термофиксацией.

Штамповка и калибровка на пресс-пушке защитных шлемов и касок (рис. 2, б) из сплавов АМг-2 и АМг-3 полностью исключила сварные и дополняющие их операции, трудоемкость изготовления была снижена в 6 раз. Каски изготавливались серийно более 15 лет.

Особо стоит отметить технологическую операцию по запрессовке тонкостенной изолирующей гильзы трубы в статор погружного электронасоса для перекачки агрессивных жидкостей (рис. 2, в). “Штатная” технология предполагала установку в полость статора калиброванных цельнотянутых труб с последующей их приваркой по торцам к корпусам подшипниковых щитов. При этом между стенкой гильзы и торцами пластин статорного набора оставался гарантированный зазор, из-за которого возникали существенные электромагнитные потери и ухудшался режим охлаждения статора прокачиваемой через него жидкостью.

Предложенная предприятию технология гидродинамической запрессовки в статор сварной некалиброванной гильзы позволила удешевить процесс за счет отказа от дорогостоящих покупных гильз и изготовления трубчатых заготовок своими силами. Кроме того, радиальный зазор между гильзой и статорным набором был полностью устранен, вместо этого возник между ними плотный контакт, благодаря которому отмеченные недостатки переродились в свои противоположности.

Как логическое продолжение данной операции, предполагалось закрепление торцов гильзы не за счет сварки, а путем одновременного с запрессовкой гильзы в статор процесса заштамповки ее концов в проточки подшипниковых щитов с уложенными в них эластичными герметизирующими кольцами. Реальность этой операции проверена на натурной модели, герметичность полученного узла при испытании “на гелий” дала положительный результат.

В ряду специфических операций ГДШ следует отметить некоторые из них, внедренные как альтернатива уже освоенным общепринятым способам, с целью придания изготавливаемым изделиям новых, улучшенных эксплуатационных качеств, например, повышения межремонтного ресурса (как у компрессоров выхлопного коллектора высоконагруженного танкового двигателя); снижения гидравлических потерь в корпусах фильтров с отверстиями, полученными групповой пробивкой на пресс-пушке (рис. 2, д) и т.п.

Наиболее освоенные, широко внедренные в производство и подкрепленные основательной теоретической базой, являются технологические операции гидродинамической штамповки приварной арматуры особотонкостенного высокоресурсного трубопровода систем кондиционирования воздуха (СКВ) и противообледенительной (ПОС) тяжелых самолетов (рис. 2, ж) [3].

В процессе работы по изготовлению соединений типа сфера-конус была создана комплексная методика теоретического проектирования технологического

процесса ГДШ деталей из тонкостенных заготовок на основе разработанной математической модели [5].

Данная модель позволяет аналитически определить параметры внешней нагрузки для гарантированного получения детали по заданному чертежу. При этом реализуется оптимальное нагружение рабочим импульсом, когда на переходе оформления основного профиля детали заготовка подходит к матрице с минимальной скоростью, а на следующем переходе происходит калибровка давлением более высокой интенсивности или оформление элементов рельефа. Результаты математического моделирования в графическом представлении дают полную количественную картину всех возможных сочетаний параметров внешней нагрузки и результатов их взаимодействия (рис. 3).

Такой функциональный подход к решению программных задач технологии должен, в принципе, реализовываться для всех типовых техпроцессов с целью возможного включения решений частных задач в интегрированную систему подготовки конкретного производства.

В заключение напомним о возможном использовании установок с гидродинамическим технологическим узлом для проведения динамических испытаний материалов, главным образом для определения критериев штампуемости листовых металлов при импульсном нагружении, в том числе с помощью штамп-приборов.

На пресс-пушках могут быть реализованы следующие варианты испытаний образцов:

- растяжение стержня;
- сжатие короткого стержня;
- кручение тонкостенной трубы;
- кручение тонкостенной трубы плюс действие давления изнутри;
- растяжение плюс действие давления изнутри.

Из этого списка исключены некоторые варианты силового воздействия на тонкостенную трубу, при реализации которых возникают проблемы устойчивости.

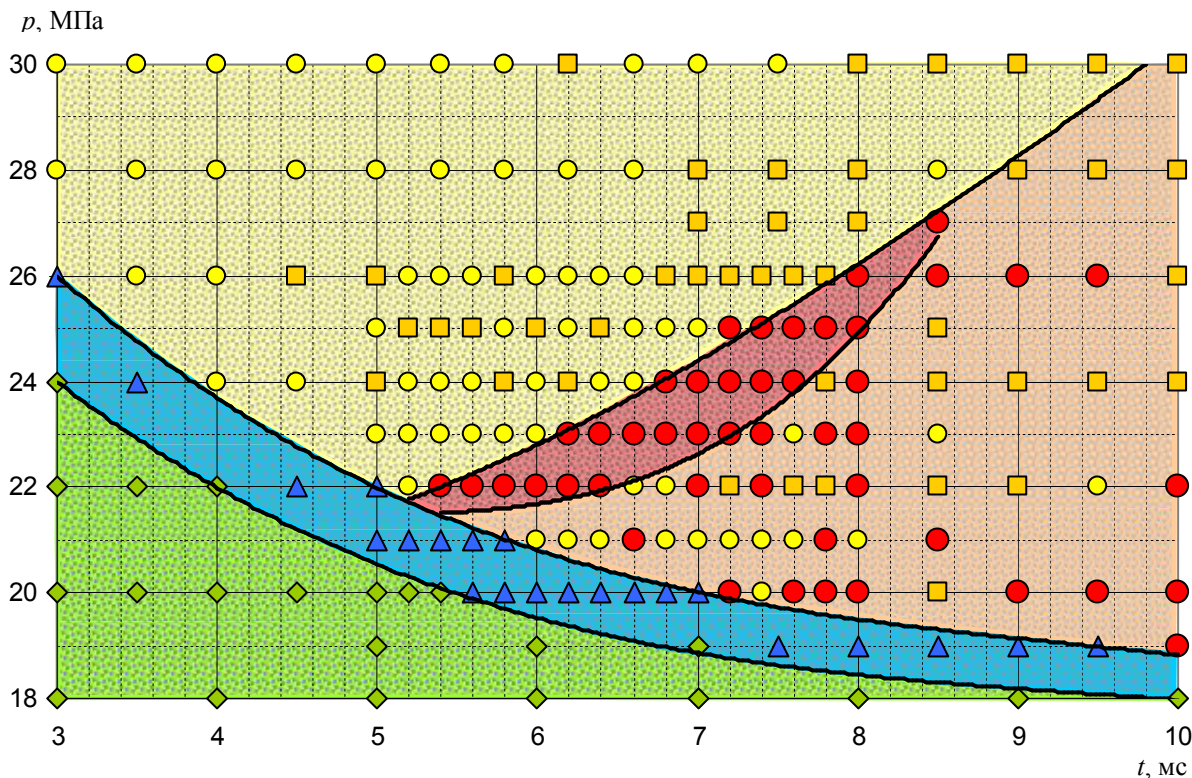


Рис. 3. Результаты математического моделирования гидродинамического формообразования основного контура сферического наконечника систем ПОС и СКВ самолетов:

- ◆ — нет контакта оболочки с поверхностью матрицы;
- ▲ — неполный контакт оболочки с поверхностью матрицы;
- — искажение формы оболочки от удара о поверхность матрицы и от влияния инерционных сил;
- — знакопеременные изменения деформаций оболочки (гиб, разгиб) с последующим наложением на матрицу;
- — качественная сферическая оболочка

Обобщая приведенную выше довольно ограниченную информацию о состоянии работ по теме гидродинамической обработки материалов давлением, можно утверждать, что проблема эта актуальна, и ее разработка нуждается в продолжении.

### Литература

1. Брагин А.П. Гидродинамическая штамповка на пресс-пушках, как одно из направлений импульсной обработки материалов давлением // *Авиационно-космическая техника и технология*. — 2007. — № 11 (47). — С. 296-304.
2. Степанов В.Г., Шавров И.А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. — Л.: Машиностроение, 1975. — 278 с.
3. Кривцов В.С., Брагин А.П., Мельничук А.П. Анализ некоторых результатов научных и производственных исследований процессов гидродинамиче-

ской штамповки элементов трубопроводов воздушных систем самолетов // *Авиационно-космическая техника и технология*. — Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2003. — Вып. 38. — С. 6-13.

4. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1967. — 496 с.
5. Мельничук А.П. Исследование процессов гидродинамического формообразования тонкостенных осесимметричных оболочек при оформлении основного контура на примере сферического наконечника трубопроводов воздушных систем ЛА // *Авиационно-космическая техника и технология*. — 2004. — № 4 (12). — С. 11-19.

*Поступила в редакцию 4.12.2007*

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Ю.А. Боборыкин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

