

УДК 621.7.044

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

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ВАРИАНТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗГОНА СНАРЯДА В УСТАНОВКАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ

Способ гидродинамической штамповки или, в более широкой трактовке – формообразования, основан на создании импульса давления в неуплотненной формирующей жидкостной камере ударом по жидкости твердого тела – снаряда. Основопологающим принципом предлагаемой к рассмотрению альтернативной гаммы энергетических систем является воздействие на разгоняемый снаряд потоком жидкости, непрерывно сопровождающей его с ускорением и под давлением на всем пути его движения в стволе.

гидродинамическая штамповка, альтернативные системы энергоузлов

Введение

Способ гидродинамической штамповки (ГДШ) или, в более широкой трактовке – формообразования – основан на создании импульса давления в неуплотненной формирующей жидкостной камере ударом по жидкости твердого тела – снаряда (рис. 1). При диапазоне скоростей $v_{сн} = 50 \dots 150$ м/с и более в формирующей камере может быть создано давление порядка $q_{\phi} = 300$ МПа. При этом происходящее самоуплотнение зазоров позволяет обходиться без специальных уплотнительных элементов конструкции.

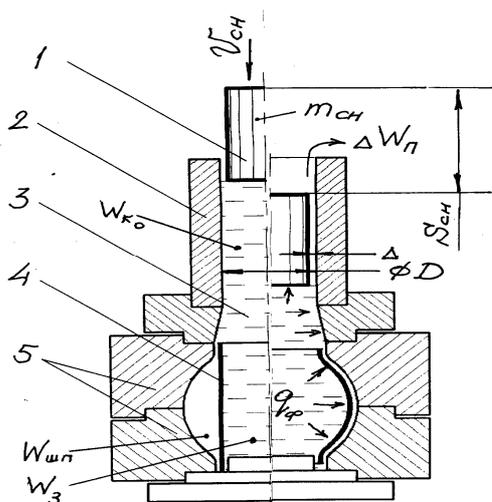


Рис. 1. Схема процесса ГДШ:

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

1. Формулирование проблемы

Основная проблема состоит в обеспечении разгона снаряда до указанных скоростей. В установках, созданных до 1990 года, энергоносителем был порох, а системы разгона снаряда (энергоузлы) были аналогичны артиллерийским и содержали те же элементы: ствол, казенную часть с затвором, механизмами форсирования, перезарядки и постановки снаряда в патронник [1 – 3].

В настоящее время использование пороха в производственных условиях неприемлемо.

Поэтому в целях сохранения области технологий гидродинамической штамповки, показавших свои преимущества за 40 лет эксплуатации на ряде опытных и серийных предприятий авиационной промышленности, необходимо найти эффективные, альтернативные пороховым, решения по энергообеспечению исполнительного органа технологического узла.

2. Решение проблемы

Главным опорным моментом предлагаемого направления является пересмотр ранее реализованных принципов разгонных систем энергоузлов, базировавшихся на энергетике расширения сжатых газов горения пороха, топливо-воздушных и горючих га-

зовых смесей, давление которых воздействовало непосредственно на разгоняемое тело (снаряд) при перемещении его внутри ствола [4].

Основополагающим принципом предлагаемой к рассмотрению альтернативной гаммы энергетических систем является воздействие на разгоняемый снаряд *потоком жидкости*, непрерывно сопровождающей его с ускорением и под давлением на всем пути его движения в стволе.

Принципиально источниками энергии при разгоне снаряда могут быть (за исключением пороховых газов):

- сжатый воздух; испарение сжиженного газа;
- расширение перегретого пара;
- горение топливно- или газоздушных смесей;
- химическое разложение энергоносителей с выделением газообразных продуктов (например, перекиси водорода);
- вакуумирование подснарядной полости;
- электромагнитные системы, в том числе линейные двигатели;
- магнитодинамические системы;
- гравитационные силы;
- энергия упругих механических систем;
- использование энергии гидравлического удара, созданного искусственно.

Согласно принятому основному принципу – *передаче энергии снаряду через жидкость* (передающую среду) – все перечисленные виды первичного энергетического воздействия (кроме электромагнитного) должны сначала создать в этой жидкости давление и с ускорением вытеснить ее из полости разгонной камеры в надснарядную полость ствола. Это действие реализуется посредством разделительного (или разгонного) поршня, отделяющего жидкостную разгонную камеру от полости, в которой происходит первичное энергетическое воздействие.

Сообщение снаряду необходимой динамики разгона осуществляется на основе явления гидравлической мультипликации скорости, которое заключа-

ется в изменении (увеличении) скорости потока жидкости при движении его в сужающемся канале. При этом, вследствие несжимаемости жидкости, через любое сечение канала в любой промежуток времени проходят одинаковые объемы жидкости, т.е. в фиксированный момент времени

$$v_{n_i} d_i^2 = const, \quad (1)$$

где v_{n_i} – скорость потока в i -м сечении канала;

d_i – диаметр канала в том же сечении.

Сущность описанных выше основных особенностей гидравлического привода разгона снаряда ясна из рис. 2. В основу разработки конструктивной схемы поставлена задача обеспечения наиболее эффективного разгона снаряда энергией расширяющегося сжатого воздуха и возможности регулирования при этом импульса давления в формирующей камере штампового блока, что позволит повысить экологическую безопасность процесса и улучшить качество штампуемых деталей.

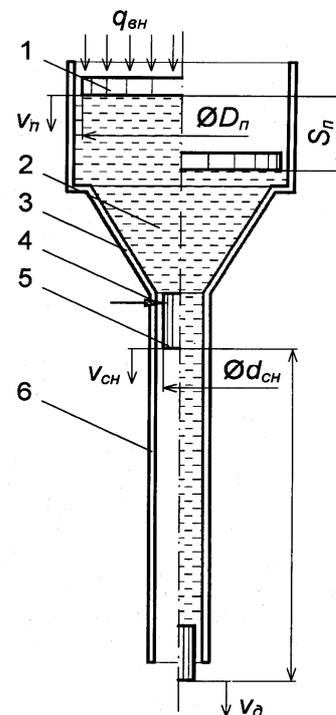


Рис. 2. Принципиальная схема гидравлической мультипликаторной камеры:

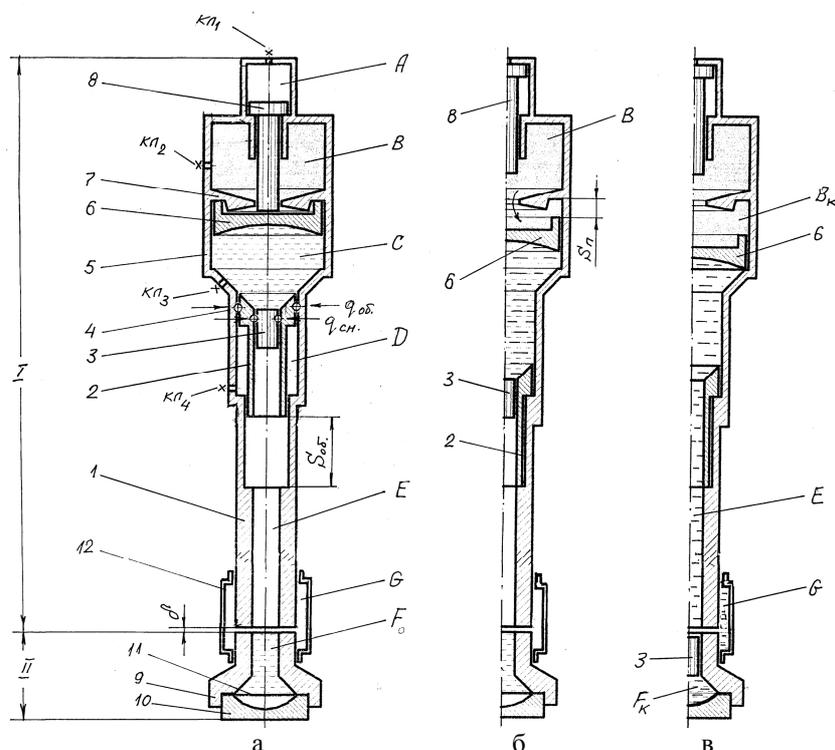
- 1 – промежуточный поршень; 2 – жидкая разгоняющая среда; 3 – камера мультипликатора скорости; 4 – форсирующая связь; 5 – снаряд; 6 – ствол

Для решения первой поставленной задачи жидкость, предназначенная для разгона снаряда, вытесняется в область ствола из цилиндрической камеры разделительным поршнем, на который действует давление сжатого газа, через коноидальный канал, который обеспечивает наименьшее сопротивление при истечении жидкости из цилиндрической камеры в ее выходное сечение, имеющее в несколько раз меньший диаметр. Начальное движение снаряду обеспечивают совместно с охватывающей его обоймой, с которой он связан захватами, рассчитанными на определенное усилие срыва.

Этот этап разгона завершается при внезапном упоре обоймы в площадку верхней проточки ствола; к этому моменту оставшаяся движущаяся масса – разделительный поршень, жидкость и снаряд приобретают некоторую скорость и накапливают кинетическую энергию. При этом динамика перемещения блока снаряд-обойма может регулироваться в широких пределах задаваемым характером изменения давления газа в полости “Д” (рис. 3). Дальнейшее движение снаряда обеспечивается жидкостью,

вытесняемой через мультипликатор скорости и созданием в потоке, в процессе ускоренного движения, гидравлического удара, что существенно усиливает давление над снарядом. При этом поток жидкости сопровождает снаряд по всей длине канала ствола непрерывно и под давлением. Жидкость, толкающая снаряд, заполняет полость ствола и к концу разгона снаряда весь ее объем в полости над снарядом от его верхнего торца до выходного сечения разгонной камеры имеет такую же скорость, как и снаряд, благодаря чему увеличивается как кинетическая энергия снаряда и присоединенной массы жидкости, так и длительность нагружающего импульса. Процесс штамповки благодаря этому приобретает квазистатический характер, что улучшает качество детали и увеличивает КПД процесса.

Устройство для осуществления описанного выше разгона снаряда и схема действия представлены на рис. 3. Полностью вся система для ГДШ состоит из двух функциональных блоков: энергетического узла I и штамповочного блока II, расположенных соосно друг с другом с зазором δ между обращенными



- а – исходное состояние;
 б – устройство в момент окончания первого этапа разгона инерционной системы газ-поршень-жидкость-обойма-снаряд;
 в – устройство в момент реализации процесса ГДШ;
 I – энергетический узел;
 II – штамповый блок;
 А – полость управления штоком-клапаном;
 В – полость газа высокого давления;
 С – полость передающей среды-жидкости;
 D – полость водосборника;
 E – полость управления движением блока снаряд-обойма;
 F – надпоршневая полость

- Клапаны:
 Кл₁ – управление штоком-клапаном;
 Кл₂ – наполнение полости газа высокого давления;
 Кл₃ – наполнение полости передающей среды;
 Кл₄ – управление блоком снаряд-обойма;
 Кл₅ – слив жидкости из водосборника

Рис. 3. Принципиальная конструктивная схема устройства для мультипликационного разгона снаряда в установках для ГДШ

друг к другу торцами и взаимно центрируемых цилиндрической пустотелой муфтой 12.

Энергетический узел состоит из ствола 1, имеющего ступенчатый, с переходом от большего диаметра к меньшему сверху вниз, канал, в котором соосно, с возможностью осевого возвратно-поступательного движения, расположена обойма 2 и размещенный в ней снаряд 3. Снаряд удерживается в верхней части обоймы с определенным усилием упругой связью, например, цанговым захватом. Обойма фиксируется в верхней части ствола захватами 4. Сверху к стволу, соосно с ним, присоединена неподвижная разгонная камера 5, в которой находится разделительный поршень 6. Разделительный поршень 6 может перемещаться вдоль оси камеры вверх и вниз, от перегородки 7 до дна камеры и обратно. Перегородка 7 разделяет разгонную камеру 5 на две полости: нижнюю “С” и верхнюю “В”. В полости “С” находится жидкость, а полость “В” заполнена сжатым воздухом высокого давления. В центральной части перегородки 7 имеется сквозное отверстие, в которое входит шток клапана управления 8, а поршень клапана 8 находится в соосно расположенной сверху полости “А”.

Полости “А”, “В”, “С” и “D” снабжены перекрытными клапанами Кл₁, Кл₂, Кл₃ и Кл₄ (рис. 3).

Штамповый блок II состоит из корпуса формирующей камеры 9 и матрицы 10 с уложенной в нее заготовкой 11. Полость формирующей камеры “F” заполнена передающей средой – жидкостью, обычно водой.

Можно утверждать, что предлагаемая схема нагружения формирующей камеры изменит качество импульса давления, а именно – продолжительность его возрастет, КПД увеличится, уменьшится роль волновых явлений, так как пики колебаний минимизируются.

В этом устройстве предложена схема фиксации снарядов на управляемых захватах, действие которых должно быть согласовано с режимом роста давления в разгонной камере. Для осуществления этой функции авторами разработан специальный быстродействующий синхронизирующий клапан (рис. 4).

Его роль заключается в обеспечении кратковременного импульсного усилия на поршень фиксатора 6, который должен удерживать, в качестве захвата, блок обойма-снаряд до достижения в камере “С” (рис. 3) давления форсирования.

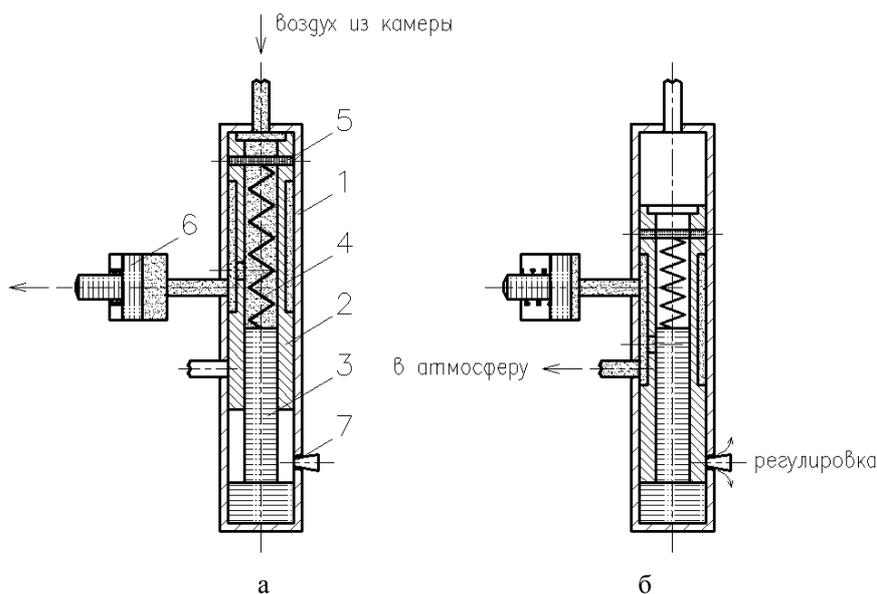


Рис. 4. Клапан быстродействующий автоматический:
1 – корпус; 2 – золотник; 3 – шток; 4 – пружина; 5 – штифт;
6 – потребитель (фиксатор); 7 – дроссель

Рабочая камера “F” клапана соединяется с надпоршневой полостью “Bк” (рис. 3) трубопроводом 8, и воздух под давлением поступает в нее в начале движения разделительного поршня 6 (рис. 3). Через отверстие “A” и полость проточки “D” золотника 2 воздух поступает в цилиндр фиксатора 6 по каналу “B” и создает на штоке фиксатора, упирающегося в обойму 2 (рис. 3), необходимое усилие захвата. Одновременно, под действием этого же давления, золотник клапана перемещается в противоположное крайнее положение (на схеме – вниз), соединяя при этом канал “B” через проточку “D” с атмосферой через отверстие “C”, тем самым, снимая нагрузку с фиксатора.

Цикл работы этого клапанного устройства задается путем регулирования скорости (или времени перемещения) золотника при прямом и обратном его ходе дросселем 7 за счет изменения сопротивления истечению воздуха из полости “E”.

В качестве разгонного устройства установок для гидродинамической штамповки может быть предложен аналог двигателя дизель-молота – широко применяемой машины для забивки свай или трамбовки грунтов. Такие двигатели называются *одноактными*, так как их рабочие циклы могут разделяться неограниченными временными промежутками.

Схема энергетической части разгонного блока для рассматриваемой нами системы приведена на рис. 5 в характерные функциональные моменты: а – исходное состояние; б – сжатие воздуха в камере сгорания; в – впрыск топлива, сгорание горючей смеси, перемещение рабочего органа.

Дизель-молоты относятся к группе прямодействующих двигателей, у которых энергия газов передается непосредственно рабочему органу, в нашем случае – ступенчатому поршню 4.

Следует отметить, что, несмотря на сравнительную простоту устройства дизель-молотов, их рабочий процесс довольно сложен. Ознакомление с процессами, протекающими внутри цилиндра (камеры)

дизель-молота и характером взаимодействия газов с потребителем энергии (исполнительным органом) показывает, что использование этой машины может быть очень эффективным.

Трудность разработки (проектирования) таких двигателей состоит в том, что к настоящему времени нет обобщающей теории газодинамического и теплового расчета этих машин; основные параметры и их соотношения почти всегда претерпевают процесс экспериментальной доводки. Например, очень сложно найти оптимальные промежутки между временем действия максимума силы воздействия на исполнительный орган машины (в нашем случае – ступенчатый поршень) и временем действия максимума газов и поддерживать их в процессе нагрузки.

Кроме того, устойчивость и стабильность тепловых процессов в камерах сгорания таких двигателей могут быть обеспечены только при непрерывной работе их после реализации этапа запуска (разогрева) в режиме безостановочного многоциклового нагружения. Особенности эксплуатации рассматриваемого здесь оборудования такой возможности не допускают.

Поэтому авторами предлагается к рассмотрению вариант установления необходимого теплового режима в камере путем независимого внешнего подвода тепла.

Основные параметры рабочего процесса в камере двигателя разового действия с воспламенением от сжатия (аналог дизель-молота): максимальное давление газа (продуктов сгорания топлива) – 130 ... 150 кг/см² при температуре 620 ... 700 К, степень сжатия – 15.

Работа предлагаемого устройства происходит следующим образом (рис. 5).

В исходном положении “а” снаряд 2 находится в верхней части ствола на форсирующей подвеске. Подвижный цилиндр 5 находится в крайнем верхнем положении на замковой подвеске, ступенчатый поршень 4 также занимает крайнее верхнее

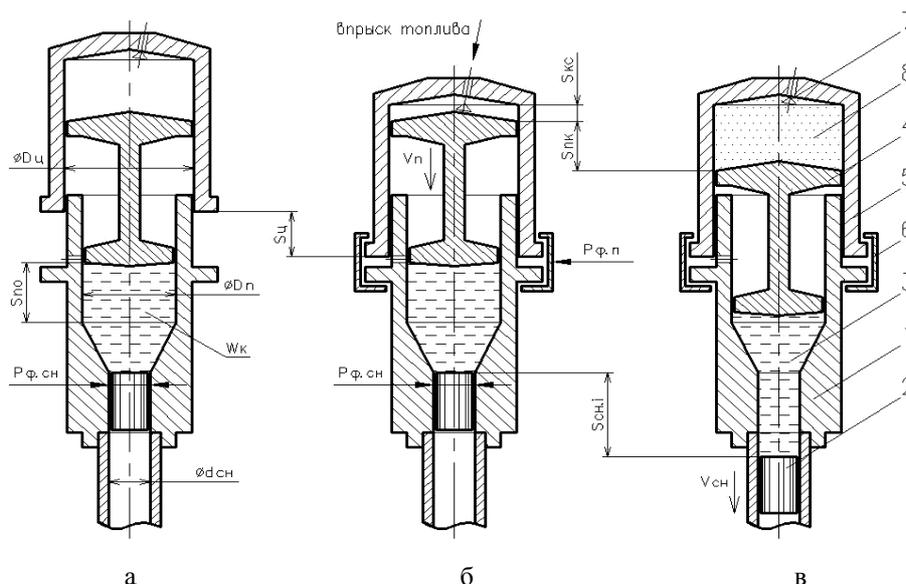


Рис. 5. Схема разгонного устройства для гидродинамической штамповки

положение и также зафиксирован. Полость камеры 1 заполнена жидкостью (водой) объемом W_k .

Запуск устройства осуществляется сбросом подвижного цилиндра с подвески; он доходит вниз до упора, где моментально захватывается защелками, удерживающими его от отбрасывания кверху. При этом воздух в полости 8 сжимается, в определенный момент (при достижении необходимой степени сжатия) в камеру впрыскивается (разбрызгивается) топливо, которое от давления воспламеняется. Под действием высокого давления газов поршень 4 вытесняет жидкость W_k из полости 3 и проталкивает тем самым снаряд 2 по стволу с ускорением, обеспечиваям снаряду в конце хода (на срезе ствола) скорость v_d .

Заключение

Применение технологических процессов ГДШ в высокотехнологических отраслях машиностроения показало в свое время их высокую эффективность и позволило решить ряд производственных проблем как в опытном, так и в серийном производстве.

В современных условиях, после многолетнего спада и развала производства, представляется целесообразным и перспективным возрождение и даль-

нейшее развитие технологий и оборудования гидродинамической штамповки с учетом современных требований эргономики.

Литература

1. Дмитриевич Ю.В. Современные отечественные и зарубежные свайные дизель-молоты. – М.: ЦНИИТ Строймаш, 1976. – 288 с.
2. Волчек Л.Я. Исследование рабочего процесса свайного молота внутреннего сгорания // Труды ЦНИДИ. – М.: ЦНИДИ. – Вып. 20. – 1952. – С. 3 – 19.
3. Пневматические устройства и системы в машиностроении / Под ред. Е.В. Герца. – М.: Машиностроение, 1981. – 432 с.
4. Кривцов В.С., Брагин А.П., Мельничук А.П. Устройства разгона снаряда в установках для гидродинамической штамповки // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2001. – Вып. 27. – С. 26 – 33.

Поступила в редакцию 14.02.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.