

УДК 621.98.044.7

Боташев С. А.

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА С КАМЕРОЙ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Известны устройства для листовой штамповки, основанные на использовании энергии продуктов сгорания горючих газовых смесей. Это, в частности, устройства газовой, газодетанационная и газоимпульсной штамповка [1–4]. В этих устройствах роль деформирующего инструмента играют продукты сгорания газовой смеси, благодаря чему существенно упрощается технологическая оснастка. Эти устройства отличаются простотой конструкции, компактностью и малой металлоемкостью. Применение их позволяет существенно упростить штамповую оснастку, что обеспечивает снижение себестоимости штампуемых деталей. Эти устройства особенно эффективны в индивидуальном опытно-конструкторском и мелкосерийном производствах. Тем не менее, они имеют ограниченное применение. Это обусловлено тем, что уровень развиваемого давления сравнительно невысок. Максимальное давление продуктов сгорания на поверхности заготовки составляет порядка 20 МПа. В устройствах газодетанационной штамповки давление на фронте ударной волны выше этой величины, однако, после воздействия ударной волны на обрабатываемую заготовку давление на ее поверхности резко падает. Поэтому указанные устройства в основном используются для изготовления деталей с большими радиусами кривизны, т. е. деталей типа днищ, либо очень тонкостенных деталей. Давление продуктов сгорания лимитируется давлением топливной смеси, которое ограничено применяемой топливной аппаратурой и уплотнением стыка между камерой и штампуемой заготовкой. Поэтому дальнейшее существенное увеличение давления топливной смеси маловероятно.

Целью данной работы является расширение технологических возможностей устройств газовой штамповки путем повышения давления продуктов сгорания. Это достигается применением камеры пульсирующего горения.

Предлагаемое устройство для штамповки схематически представлено на рис. 1. Он содержит корпус 1 и основание 2, стянутые между собой с помощью фланца 3 и болтов 4 с гайками 5. В корпусе 1 размещена камера сгорания, разделенная по длине перегородками на замкнутые полости 6, 7 и 8. В перегородках выполнены сквозные каналы 9, 10, 11, в которых установлены обратные клапаны 12, 13, 14. Верхняя полость 6 снабжена впускным клапаном 15 и свечей зажигания 16. В нижней части корпуса 1 установлен выпускной клапан 17, соединенный каналом 18 с рабочей полостью 19. В нижней торцевой части корпуса 1 выполнена кольцевая полость 20, в которой размещен кольцевой поршень 21. В основании 2 размещена матрица 22, которая имеет возможность перемещения в направлении перпендикулярном к плоскости чертежа. Перемещение матрицы производится с помощью пневмоцилиндра, который на чертеже не показан. Штампуемая заготовка 23 устанавливается на матрицу 22 и зажимается поршнем 21.

Работа устройства осуществляется следующим образом. В кольцевую полость 20 подается сжатый воздух. При этом кольцевой поршень 21 зажимает фланцевую часть заготовки 23. Через впускной клапан 15 подается топливная смесь в полость 6. При этом топливная смесь через каналы 9, 10, 11 поступает также в полости 7, 8, 19. Затем топливная смесь в полости 6 с помощью свечи 16 поджигается. В процессе горения смеси давление в полости 6 повышается. Благодаря этому часть топливной смеси из полости 6 перетекает в полость 7, а затем в полости 8 и 19. К моменту достижения фронта пламени канала 9 давление в полостях 7, 8, 19 существенно повышается. В зависимости от состава топливной смеси и соотношения объемов полостей 6, 7, 8, 19 давление может повыситься в 3...5 раз. При перетекании пламени через канал 9 начинается горение топливной смеси в полости 7. Давление в этой полости повышается. При этом обратный клапан 12 закрывается, предотвращая перетекание

продуктов сгорания в полость 6. Часть топливной смеси из полости 7 перетекает в полость 8, затем в полость 19, и давление в этих полостях повышается. Аналогично происходит при проникновении пламени через канал 10 в полость 8. Таким образом, благодаря перетеканию топливной смеси из одной полости в другую, давление топливной смеси в рабочей полости 19 непрерывно увеличивается. Под действием этого давления заготовка 23 деформируется. Происходит течение металла из фланцевой части заготовки в полость матрицы 22. При этом объем полости 19 увеличивается. Таким образом, в процессе сгорания топливной смеси в полостях 6, 7, и 8 происходит увеличение объема полости 19 и давления в ней. При проникновении пламени через канал 11 в эту полость происходит сгорание топливной смеси в ней и давление в полости 18 резко повышается. При этом обратный клапан 14 закрывается. Под действием давления продуктов сгорания заготовка 23 интенсивно деформируется – осуществляется процесс штамповки.

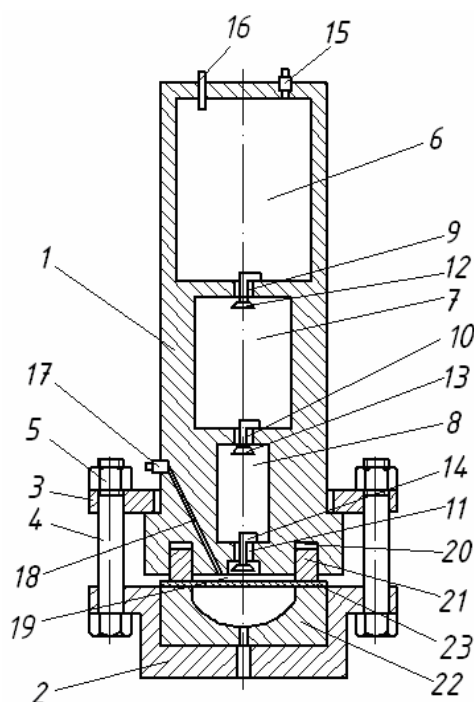


Рис. 1. Схема устройства для штамповки:

1 – корпус; 2 – основание; 3 – фланец; 4 – болт; 5 – гайка; 6, 7, 8, 19, 20 – полости; 9, 10, 11 – каналы; 12, 13, 14 – обратные клапаны; 15 – впускной клапан; 16 – свеча зажигания; 17 – выпускной клапан; 18 – канал; 21 – кольцевой поршень; 22 – матрица; 23 – заготовка

При открытии выпускного клапана 17 продукты сгорания выпускаются из полостей 19, 8, 7, 6 через канал 18. Сжатый воздух из кольцевой полости 20 стравливается. Матрица 22 перемещается в направлении перпендикулярном оси устройства и выводится из его рабочей зоны. Отштампованная деталь извлекается из матрицы. Затем на матрицу устанавливается новая заготовка, и матрица перемещается в обратном направлении и вводится в рабочую зону устройства. Далее рабочий цикл устройства повторяется.

Анализ термодинамических процессов, протекающих в полостях камеры сгорания, показал, что общая степень повышения давления топливной смеси во второй полости в период горения топливной смеси в первой полости можно определить по следующей зависимости:

$$P_2 = I_1(1 - b_1)^k,$$

где λ_1 – степень повышения давления в первой камере, в случае сгорания смеси при постоянном объеме, величина λ_1 составляет 7...8; β_1 – доля объема топливной смеси, вытесненной из первой полости в период горения в этой полости; k – показатель адиабаты продуктов сгорания.

Аналогичные зависимости приемлемы и для других полостей камеры сгорания. Поэтому общая степень повышения давления топливной смеси в четвертой полости, примыкающей к штампуемой заготовке, в период горения топливной смеси в предыдущих трех полостях камеры сгорания можно определить по следующей зависимости:

$$P = P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 = I_1 I_2 I_3 (1 - b_1)^K (1 - b_2)^K (1 - b_3)^K,$$

где λ_2, λ_3 – степени повышения давления при сгорании во второй и третьей полостях, определенные для случая сгорания при постоянном объеме; β_2 – доля объема топливной смеси, вытесненной из второй полости в период горения в этой полости; β_3 – доля объема топливной смеси, вытесненной из третьей полости в период горения в этой полости.

Расчет по этим зависимостям показал, что при сгорании топливной смеси в каждой полости камеры сгорания давление топливной смеси в следующей ее полости повышается в 3...4 раза. Благодаря этому, давление смеси на поверхности штампуемой заготовки повышается в 25...30 раз. При сгорании этой смеси давление еще повышается 4...5 раз. При этом общая степень повышения давления на поверхности заготовки составляет 100...120.

В описанном устройстве для штамповки благодаря соответствующей организации процесса сгорания, т. е. обеспечения пульсирующего горения топливной смесив полостях камеры сгорания, давление топливной смеси на поверхности деформируемой заготовки увеличивается в 100...120 раз. По сравнению с известными аналогами, в частности с устройствами газодетанационной штамповки, в данном устройстве давление продуктов сгорания на поверхности заготовки значительно выше. Это существенно расширяет технологические возможности устройства. Благодаря высокой концентрации давления и температуры на поверхности заготовки, на этом устройстве можно производить штамповку деталей очень широкой номенклатуры из различных сплавов, в том числе и из трудноформируемых. Он позволяет штамповать из листовой заготовки детали практически любой конфигурации. Наряду с этим устройство отличается компактностью и простотой конструкции, что обеспечивает существенное снижение себестоимости ее изготовления.

Для практической апробации данной разработки было создано экспериментальное устройство с камерой пульсирующего горения для листовой штамповки [5], фотография которого представлено на рис. 2. Для упрощения конструкции устройства камера пульсирующего горения непосредственно присоединена к штампу при помощи резьбового соединения. Штамп состоит из опорной плиты и матрицы, стянутых между собой при помощи болтов. Штамп позволяет изготавливать детали различной конфигурации, изменяя при этом форму матрицы. По прочности штамп рассчитан на максимальное давление газа порядка 50 МПа. Для облегчения установки заготовки в штамп и снятия отштампованной детали штамп расположен сверху камеры пульсирующего горения (в отличие от схемы на рис. 1). Впускной клапан, свечи зажигания и другие агрегаты установлены в нижней части камеры сгорания.



Рис. 2. Экспериментальное устройство для штамповки

Основные технические характеристики экспериментального устройства:

Габаритные размеры, мм – 1600 × 550 × 550.

Максимальный диаметр штампуемой детали, мм – 350.

Энергоноситель – смесь горючего газа с воздухом.

Давление энергоносителя, МПа – 0,2...0,4.

Максимальное давление на поверхности штампуемой заготовки, МПа – 50.

При испытании устройства для штамповки в качестве топливной смеси использовали смесь пропан-бутана с воздухом. Давление смеси устанавливали в пределах 0,2...0,4 МПа. Зажигания топливной смеси производили с торца камеры сгорания. При этом процесс горения последовательно протекал во всех полостях камеры сгорания и заканчивался на поверхности штампуемой заготовки. По мере распространения фронта пламени по длине

камеры сгорания устойчиво происходила мультипликация давления. Благодаря этому давление топливной смеси всего 0,3 МПа оказалось достаточным для штамповки детали в форме днища из стальной заготовки толщиной 1 мм. В целом испытание устройства для штамповки показало, что камера пульсирующего горения является мощным инструментом для создания высокого давления на поверхности штампуемой заготовки. При сравнительно невысоком давлении топливной смеси порядка 1 МПа давления на поверхности заготовки может достигать 100...120 МПа, что вполне достаточно для штамповки детали практически любой конфигурации.

ВЫВОДЫ

Организация процесса горения топливной смеси по длине камеры сгорания в режиме пульсационного горения обеспечивает мультипликацию давления. Применения камеры пульсирующего горения в устройствах газовой штамповки позволяет значительно повысить давление газа на поверхности штампуемой заготовки, что существенно расширяет технологические возможности этих устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов В. Г. *Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов* / В. Г. Степанов, И. А. Шавров. – Л. : Машиностроение, 1975. – 280 с.
2. Боташев А. Ю. *Исследование процесса газоимпульсной штамповки* / А. Ю. Боташев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1999. – № 11. – С. 20–22.
3. Боташев А. Ю. *Определение энергосиловых характеристик процесса газоимпульсной штамповки* / А. Ю. Боташев, С. А. Боташев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 3. – С. 3–6.
4. Боташев С. А. *Оценка нагрева заготовки при газоимпульсной штамповке* / С. А. Боташев // *Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов : труды международной научно-технической конференции*. – СПб. : Издательство Политехнического ун-та, 2007. – С. 44–47.
5. Боташев С. А. *Разработка экспериментального устройства для штамповки с камерой пульсирующего горения* / С. А. Боташев // *Рациональные пути решения социально-экономических и научно-технических проблем региона*. – Черкесск, 2010. – С. 181–183.

Боташев С. А. – ассистент СКГГТА.

СКГГТА – Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск, Россия.

E-mail: botashev11@mail.ru