

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ГАЗОВОЙ ШТАМПОВКИ С ПОРШНЕВЫМ МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ

© 2019

А. Ю. Боташев доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск;
botashev11@mail.ru

Р. А. Байрамуков аспирант кафедры «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск;
melov.mel@mail.ru

Во многих отраслях промышленности значительна доля мелкосерийных производств. В этих условиях по сравнению с традиционными методами обработки давлением более эффективны импульсные методы обработки давлением, одной из разновидностей которых является газовая штамповка. Однако известные устройства газовой штамповки обеспечивают штамповку в основном тонкостенных деталей. Для расширения технологических возможностей газовой штамповки разработано устройство газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, в котором нагрев и деформирование штампуемой заготовки осуществляется за счёт энергии сгорания топливных смесей в камере сгорания, в рабочем цилиндре и в полости матрицы. Исследуется рабочий процесс этого устройства. Проведён теоретический анализ рабочего процесса и в результате определена закономерность изменения в рабочем цилиндре давления газа, осуществляющего процесс штамповки. Установлено, что в конечной стадии процесса штамповки за счёт энергии сгорания топливной смеси давление в рабочем цилиндре увеличивается в 1,5...2 раза, что позволяет значительно увеличить толщину штампуемых деталей. Разработано экспериментальное устройство газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Проведённые исследования подтвердили основные результаты теоретического анализа: расхождение теоретических и экспериментальных значений степени мультипликации давления в рабочем цилиндре не превышает 11%.

Газовая штамповка; поршневой мультипликатор давления; рабочий цилиндр; камера сгорания; топливная смесь.

Цитирование: Боташев А.Ю., Байрамуков Р.А. Теоретические и экспериментальные исследования устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 1. С. 163-173.
DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-163-173

Введение

Во многих отраслях промышленности значительна доля мелкосерийных производств [1], и в этих условиях более эффективны импульсные методы штамповки [2]. Применительно к обработке листового материала различают штамповку гидровзрывную [3], электрогидравлическую [4], газодетанационную [5] и газовую [6]. В этих методах, за исключением газовой, процесс штамповки осуществляется в холодном состоянии заготовки. При этом ввиду ограниченной пластичности заготовок штамповка деталей сложной формы производится за несколько технологических переходов, что значительно повышает себестоимость производства штампованных изделий. Нагрев заготовки позволяет получать детали сложной формы за одну технологическую операцию. Поэтому детали сложной формы целесообразно производить с нагревом заготовки. Известен метод газотермической формовки [7], в котором нагрев и деформирование

штампуемой заготовки осуществляется длительным воздействием на неё горячего инертного газа. Однако он является чрезмерно дорогостоящим из-за большого расхода энергоносителя. В устройствах газодетонационной штамповки многократным воздействием на листовую заготовку детонационной волны можно обеспечить существенный нагрев заготовки [8], но повышается себестоимость производимых изделий из-за большого расхода энергоносителя. Известны также устройства газовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки [9], в которых нагрев и деформирование листовой заготовки производится воздействием продуктов сгорания газозвушных смесей. Однако эти устройства обеспечивают штамповку лишь тонкостенных деталей.

Таким образом, известные конструкции устройств газовой штамповки имеют ограниченные технологические возможности. Поэтому создание новых конструкций, обеспечивающих расширение технологических возможностей газовой штамповки, является актуальной задачей. Для её решения разработано устройство газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления [10].

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка базы для обеспечения проектирования устройств газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Для достижения этой цели проведены теоретическое и экспериментальное исследования рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления представлена на рис. 1. Устройство содержит корпус 1 и матрицедержатель 2, соединённые между собой при помощи болтов 3 и гаек 4. В матрицедержателе 2 помещена матрица 5. В корпус 1 размещены рабочий цилиндр 6 с поршнем 7 и камера сгорания 8, которые снабжены впускными клапанами 9, 10, выпускными клапанами 11, 12 и свечами зажигания 13, 14. Матрица 5 снабжена впускным клапаном 15, выпускным клапаном 16 и свечой зажигания 17. На торце корпуса 1 расположена кольцевая полость 18 с кольцевым поршнем 19, служащим прижимом заготовки 20.

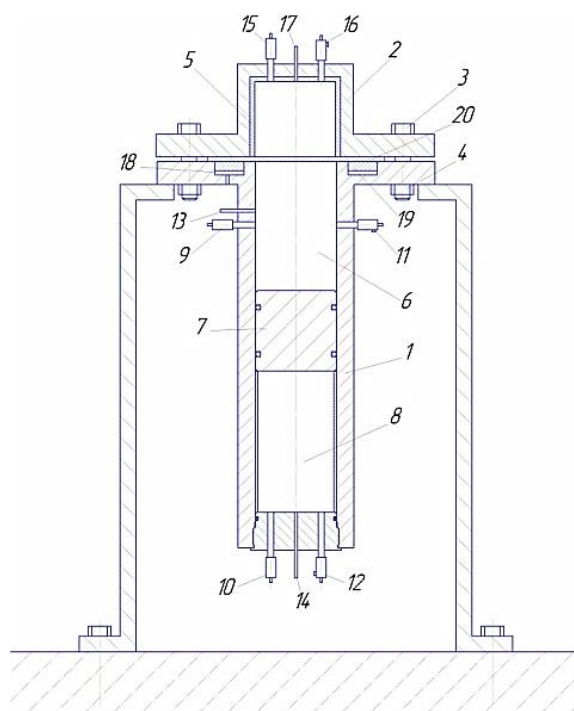


Рис. 1. Схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления

Работа устройства осуществляется следующим образом. Через впускные клапаны 9, 10, 15 в рабочий цилиндр 6, камеру сгорания 8 и полость матрицы 5 подаётся горючий газ, а затем сжатый воздух, в результате чего в них образуются топливные смеси стехиометрического состава. В рабочем цилиндре 6 и камере сгорания 8 устанавливается одинаковое давление топливной смеси, а в полости матрицы 5 ее давление в 2-3 раза ниже. Топливные смеси в рабочем цилиндре 6 и матрице 5 одновременно поджигаются при помощи свеч 13, 17. В результате их сгорания давление в рабочем цилиндре 6 и матрице 5 многократно увеличивается, при этом давление в рабочем цилиндре в 2...3 раза превышает давление в матрице 5. Под действием этой разности давлений происходит вытяжка заготовки 20 в полость матрицы. На определённой глубине матрицы вытяжка заготовки прекращается из-за сжатия газа в ней. В этом положении заготовка в течение 0,5...1,5 с интенсивно нагревается воздействием продуктов сгорания. Затем при помощи свечи 14 поджигается топливная смесь в камере сгорания 8, в результате чего давление в ней многократно повышается. Под действием этого давления поршень 7 перемещается и сжимает газ в рабочем цилиндре 6. При этом давление и температура газа интенсивно повышаются. Это обеспечивает дальнейший нагрев заготовки до достижения заданной температуры. После этого открывается выпускной клапан 16 и газ выходит из полости матрицы 5. При этом под действием давления газа в рабочем цилиндре 6 заготовка, деформируясь, заполняет всю полость матрицы 5 – процесс штамповки завершается.

Таким образом, процесс штамповки проводится в два этапа. На первом этапе нагрев и деформирование заготовки осуществляется за счёт энергии сгорания топливной смеси в рабочем цилиндре. Второй этап осуществляется за счёт энергии сгорания топливной смеси в камере сгорания. Рассмотрим рабочий процесс устройства на каждом этапе в отдельности.

Решение задачи

Первый этап. В начале первого этапа происходит сгорание топливной смеси в рабочем цилиндре. При этом заготовка деформируется в направлении матрицы в форме шарового сегмента, что вызывает сравнительно небольшое увеличение объёма рабочего цилиндра. Однако для упрощения расчёта будем считать, что процесс сгорания совершается при неизменном объёме, а затем продукты сгорания адиабатически расширяются в объёме шарового сегмента.

Тогда на основании известных соотношений адиабатического процесса [11] можно записать:

$$P_u = P_z \left(\frac{V_u + V_c}{V_u} \right)^k = \left(1 + \frac{V_c}{V_u} \right)^k, \quad (1)$$

где P_u – давление продуктов сгорания в рабочем цилиндре, Па; P_z – давление продуктов сгорания при сгорании в постоянном объёме, Па; V_c, V_u – соответственно объёмы шарового сегмента и рабочего цилиндра, м³; k – показатель адиабаты.

Давление P_z определяется как

$$P_z = \lambda P_c, \quad (2)$$

где P_c – давления топливной смеси, Па; λ – степень повышения давления при сгорании топливной смеси при постоянном давлении.

Отношение объёмов V_c/V_u составляет 0,05...0,06, поэтому максимальное давление продуктов сгорания в рабочем цилиндре отличается от P_z всего на 7...8%.

После завершения процесса сгорания топливной смеси происходит нагрев заготовки под воздействием продуктов сгорания. В течение этого процесса абсолютная температура продуктов сгорания в рабочем цилиндре снижается от T_z до T_{u1} .

Величина T_z определяется следующей зависимостью:

$$T_z = T_c \lambda, \quad (3)$$

где T_z – абсолютная температура продуктов сгорания (составляет 2100...2500 К); T_c – абсолютная температура топливной смеси, К. Уменьшение температуры продуктов сгорания обусловлено конвективным теплообменом с заготовкой и со стенками рабочего цилиндра.

Согласно уравнению конвективного теплообмена Ньютона-Рихмана [11] можно записать:

$$dQ = \alpha F (t_z - t_3) d\tau, \quad (4)$$

где Q – количество теплоты, теряемой газом, Дж; α – осреднённый коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К); F – площадь тепловоспринимающих поверхностей заготовки и рабочего цилиндра, м²; t_z, t_3 – соответственно температуры газа и заготовки, °С;

В процессе нагрева заготовки величины α и F существенно не изменяются, а разность температур $t_z - t_3$ изменяется по экспоненциальному закону [12]. Поэтому количество теплоты, передаваемой газом, и температура газа изменяются по экспоненциальному закону. Однако за время нагрева заготовки абсолютная температура газа уменьшается всего в 2...2,5 раза. Поэтому будем считать, что изменение температуры газа в цилиндре происходит по линейному закону. В процессе нагрева заготовки объём цилиндра практически не изменяется, поэтому давление газа в нём изменяется пропорционально температуре.

Тогда закон изменения давления в рабочем цилиндре в период нагрева заготовки можно представить в следующем виде:

$$P_u(\tau) = P_u \left(1 - \beta \frac{\tau}{\tau_z} \right), \quad (5)$$

где τ_z – длительность процесса горения топливной смеси в рабочем цилиндре, с; τ – время, с; β – безразмерный коэффициент, определяемый экспериментально.

Второй этап. На втором этапе процесса штамповки характер изменения давления в рабочем цилиндре и камере сгорания существенно зависит от способа зажигания топливной смеси в камере сгорания. Закономерности рабочего процесса, совершающегося в рабочем цилиндре при форкамерно-факельном зажигании топливной смеси в камере сгорания, изложены в известных работах. Рассмотрим закономерности рабочего процесса при искровом зажигании в камере сгорания.

При горении топливной смеси в камере сгорания поршень начинает перемещаться, сжимая газ в рабочем цилиндре. Определим увеличение давления в рабочем цилиндре, обусловленное перемещением поршня. Пусть к моменту остановки поршня объём

камеры сгорания увеличивается на ΔV и соответственно на столько же уменьшается объём рабочего цилиндра. Будем считать, что весь процесс горения в камере сгорания происходит при постоянном объёме. Тогда давление продуктов сгорания будет равно P_z , которое определяется по зависимости (2). Затем продукты сгорания адиабатически расширяются в объёме ΔV .

Тогда можно записать:

$$P_z V_k^k = P_k (V_k + \Delta V)^k, \quad (6)$$

где P_k – давление в камере сгорания в конце движения поршня, Па; V_k – начальный объём камеры сгорания, м³.

Из уравнения (6) получим

$$P_k = P_z \left(\frac{V_k}{V_k + \Delta V} \right)^k. \quad (7)$$

В процессе движения поршня продукты сгорания в рабочем цилиндре сжимаются. Считая этот процесс адиабатическим, запишем:

$$P_{u1} V_u^k = P_{u2} (V_u - \Delta V)^k, \quad (8)$$

где P_{u1}, P_{u2} – соответственно давление в рабочем цилиндре перед началом и в конце движения поршня, Па; V_u – начальный объём рабочего цилиндра, м³.

Отсюда получим

$$P_{u2} = P_{u1} \left(\frac{1}{1 - \Delta V / V_u} \right)^k. \quad (9)$$

При остановке поршня давление в цилиндре равно давлению в камере сгорания

$$P_{u2} = P_k. \quad (10)$$

Тогда из (7) – (9) после соответствующих преобразований получим:

$$\frac{V}{V_u} = \frac{\mathcal{G}_k \left(\Pi^{\frac{1}{k}} - 1 \right)}{1 + \mathcal{G}_k \Pi^{\frac{1}{k}}}, \quad (11)$$

$$\Pi = \frac{P_z}{P_{u1}}, \quad \mathcal{G}_k = \frac{V_k}{V_u}, \quad (12)$$

где Π – соотношение давлений в камере сгорания и рабочем цилиндре в начале второго этапа процесса штамповки; \mathcal{G}_k – относительный объём камеры сгорания, м³.

Подставляя в (9) значение $\Delta V/V_u$ из (11), получим зависимости для определения максимального давления газа в рабочем цилиндре и степень мультипликации давления:

$$P_{u2} = P_{u1} \left(\frac{1 + \mathcal{G}_k \Pi^{\frac{1}{k}}}{1 + \mathcal{G}_k} \right)^k, \quad (13)$$

$$\Pi_1 = \frac{P_{u2}}{P_{u1}} = \left(\frac{1 + \mathcal{G}_k \Pi^{\frac{1}{k}}}{1 + \mathcal{G}_k} \right)^k, \quad (14)$$

где Π_1 – степень мультипликации давления в рабочем цилиндре.

Увеличение давления газа в рабочем цилиндре сопровождается повышением его температуры, при этом степень повышения температуры определяется следующей зависимостью:

$$\bar{T}_u = \frac{T_{u2}}{T_{u1}} = \left(\frac{P_{u2}}{P_{u1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \Pi_1^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{1 + \mathcal{G}_k \Pi^{\frac{1}{k}}}{1 + \mathcal{G}_k} \right)^{(k-1)}, \quad (15)$$

где T_{u1}, T_{u2} – абсолютные температуры газа в начале и в конце движения поршня, К.

Результаты решения

Из (14) следует, что степень мультипликации давления Π_1 зависит от относительного объёма камеры сгорания \mathcal{G}_k и соотношения давлений Π . На рис. 2 представлены графики этой зависимости. Как видно из графиков, в диапазоне значений \mathcal{G}_k от 0 до 1 величина Π_1 интенсивно повышается. Поэтому величина \mathcal{G}_k должна быть не менее 1. Однако увеличение в \mathcal{G}_k более 2 нерационально, так как это увеличивает габариты устройства для штамповки и уменьшает его экономичность. Поэтому рациональные значения \mathcal{G}_k находятся в пределах от 1 до 2.

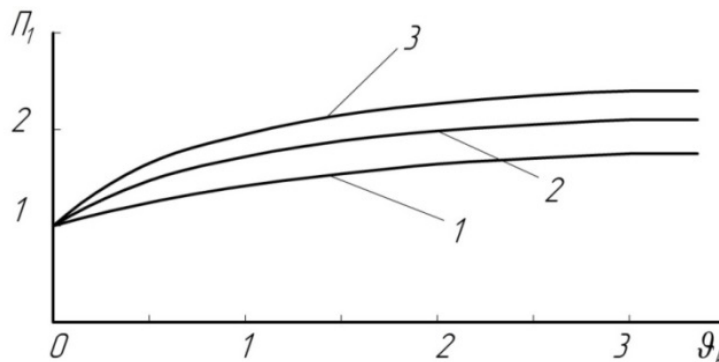


Рис. 2. Зависимость степени мультипликации давления в рабочем цилиндре от \mathcal{G}_k при различных значениях Π :
1 – $\Pi=2$; 2 – $\Pi=2,5$; 3 – $\Pi=3$

Степень мультипликации давления P_1 существенно зависит от начального соотношения давлений камеры сгорания и рабочего цилиндра, то есть от значения P . Диапазон изменения P находится в пределах 2...3 [10]. В этом диапазоне значений P при значениях g_k от 1 до 2 величина P_1 составляет 1,4...2,3, то есть давление в рабочем цилиндре увеличивается в 1,4...2,3 раза. При этом, согласно (15), абсолютная температура продуктов сгорания увеличивается в 1,1...1,2 раза.

На рис. 3 представлен график изменения давления в рабочем цилиндре на первом и втором этапах процесса штамповки. На первом этапе за время горения топливной смеси τ_z давление в рабочем цилиндре увеличивается от P_c до P_z , после чего в процессе нагрева заготовки давление монотонно снижается до $P_{ц1}$. Затем в начале второго этапа происходит интенсивный рост давления до достижения давления $P_{ц2}$, и в дальнейшем давление в рабочем цилиндре монотонно снижается.

Для оценки достоверности результатов теоретического анализа рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления и для практической апробации данного типа устройства были проведены экспериментальные исследования. Для этого по схеме, показанной на рис. 1, было разработано и создано экспериментальное устройство со следующими характеристиками:

максимальный диаметр обрабатываемых заготовок, мм	250;
максимальная толщина обрабатываемых заготовок, мм	2;
габаритные размеры устройства, м	1250×600×300;
диаметр рабочего цилиндра, мм	160;
объем рабочего цилиндра, м ³	0,0046;
объем камеры сгорания, м ³	0,0069.

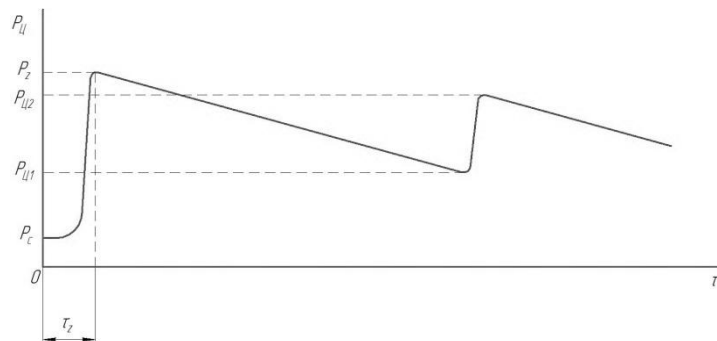


Рис. 3. Характер изменения давления в рабочем цилиндре на первом и втором этапах процесса штамповки

Эксперименты проводились следующим образом. Рабочий цилиндр и камера сгорания наполнялись топливными смесями одинакового давления, которое варьировалось в пределах 0,5...0,7 МПа. В полости матрицы давление топливной смеси устанавливалось в два раза меньшим, чем в рабочем цилиндре. Давление топливных смесей и их компонентов контролировалось образцовыми манометрами класса 0,4. Зажигание топливных смесей в рабочем цилиндре и матрице производилось одновременно. Длительность процесса нагрева заготовки, которая равна промежутку времени между зажиганием топливной смеси в рабочем цилиндре и камере сгорания, варьировалась в пределах 0,5...1,5 с.

Для осциллографирования изменения давления в рабочем цилиндре использовался датчик избыточного давления «Курант ДИ», имеющий следующие характеристики:

диапазон давлений 0...16 МПа, класс точности 0,25%, выходной сигнал 4÷20 мА, диапазон частот 0...3000 Гц. Сигнал от датчика давления передавался через резистор 990 Ом аналоговому осциллографу модели ATTEN ADS1062C.

На рис. 4 представлена одна из осциллограмм изменения давления в рабочем цилиндре в процессе штамповки при давлении топливной смеси 0,6 МПа. На рис. 4 CurA – напряжение до подачи топливной смеси в рабочий цилиндр, В; CurB – максимальное напряжение при горении топливной смеси, В; ΔU – разность между CurA и CurB, В. На осциллограмме имеются вертикальные пунктирные линии, позволяющие определить масштаб времени. На осциллограмме расстояние между соседними линиями соответствует 500 мс. Осциллограмма имеет два пика. Первый соответствует концу процесса сгорания в рабочем цилиндре, а второй – концу процесса сжатия продуктов сгорания, обусловленного движением поршня под действием давления в камере сгорания.

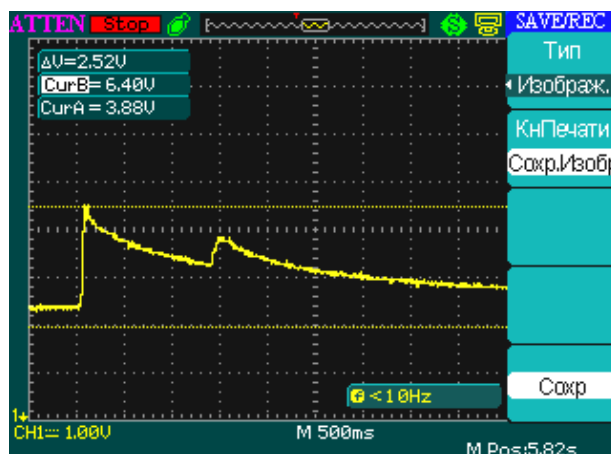


Рис. 4. Осциллограмма изменения давления в рабочем цилиндре на первом и втором этапах процесса штамповки при $P_c = 0,6$ МПа

Из представленной осциллограммы и других осциллограмм, полученных в ходе экспериментов, следует, что время сгорания топливной смеси в рабочем цилиндре составляет около 0,1 с, а степень повышения давления $\lambda = P_z/P_c$ составляет 6,2...6,5. Эти значения λ на 10...12% ниже приводимых в литературе данных. Это обусловлено малостью объёма рабочего цилиндра экспериментального устройства, некоторым увеличением его объёма в процессе горения топливной смеси.

Ниспадающая часть осциллограммы, расположенная между пиками, свидетельствует о том, что после окончания процесса сгорания топливной смеси в рабочем цилиндре давление в нём непрерывно уменьшается. Этот график снижения давления без большой погрешности может быть заменён прямой, соответствующей (5). Анализ полученных осциллограмм показал, что коэффициент β , входящий в (5), составляет 0,05...0,07.

Второй пик осциллограммы свидетельствует о том, степень мультипликации давления в цилиндре составляет 1,47. К моменту начала второго пика давление снизилось в два раза, поэтому в данном случае $\Pi = 2$. Относительный объём камеры сгорания экспериментального устройства составляет 1,5, то есть $\mathcal{V}_k = 1,5$. Из представленных на рис. 2 графиков следует, что при $\Pi = 2$ и $\mathcal{V}_k = 1,5$ степень мультипликации составляет 1,6. Следовательно расхождение теоретических и экспериментальных значений степени мультипликации составляет около 8%.

Осциллограммы, полученные при давлении топливной смеси 0,7 МПа, аналогичны. По ним средняя величина степени мультипликации составила 1,42, что отличается от теоретического значения на 11%.

Таким образом, исходя из полученных осциллограмм, можно заключить, что при $P = 2$ и $\vartheta_k = 1,5$ за счёт сжатия поршнем газа в рабочем цилиндре давление в нём увеличивается в 1,42...1,47 раза, что удовлетворительно согласуется с результатами теоретического анализа. Кроме того, в целом формы полученных осциллограмм близки к форме графика изменения давления в рабочем цилиндре, представленного на рис. 3. Это свидетельствует о том, что экспериментальные исследования подтвердили достоверность результатов теоретического анализа.

Выводы

В результате сгорания топливной смеси в рабочем цилиндре давление увеличивается в 6,2...6,5 раз; длительность процесса сгорания составляет около 0,1 с.

В период нагрева заготовки изменение давления во времени можно описать линейной зависимостью с коэффициентом 0,05...0,07.

При искровом зажигании топливной смеси в камере сгорания давление газа в рабочем цилиндре в конечной стадии процесса штамповки увеличивается в 1,5...2,3 раза, что позволяет существенно увеличить толщину штампуемых деталей.

Результаты теоретического анализа рабочего процесса устройства газовой штамповки подтверждены экспериментально: расхождение теоретических и экспериментальных значений степени мультипликации давления в рабочем цилиндре не превышает 11%.

Библиографический список

1. Ильин Л.Н., Семенов Е.И. Технология листовой штамповки: учебник для вузов. М.: Дрофа, 2009. 475 с.
2. Бычков С.А., Борисевич В.К., Кривцов В.С., Брагин А.П. О концепции использования технологических критериев для выбора импульсных технологий листовой штамповки // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2007. № 11 (47). С. 222-231.
3. Борисевич В.К., Нарыжный А.Г., Молодых С.И. Влияние передающей среды на деформирование и точность детали при импульсной штамповке // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2007. № 11 (47). С. 173-181.
4. Тараненко М.Е. Возможности штамповки автокузовных панелей из современных материалов повышенной прочности на электрогидравлических прессах // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2014. № 9. С. 34-40.
5. Сухов В.В. Опыт создания газозрывных систем с многоточечным инициированием детонации метано-кислородной смеси // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2007. № 11 (47). С. 182-185.
6. Мусаев А.А. Экспериментальные исследования газовой листовой штамповки на двухкамерном устройстве // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2012. № 4. С. 19-23.
7. Яковлев С.С., Яковлев С.П., Чудин В.Н., Соболев Я.А., Трегубов В.И., Ларин С.Н. Изотермическая пневмоформовка анизотропных высокопрочных листовых материалов. М.: Машиностроение, 2009. 352 с.
8. Гладченко А.Л., Ольховский Ю.В. Способ газовой детонационной штамповки: патент РФ № 2042458; опубл. 27.08.1995.

9. Бисилов Н.У. Динамика нагрева заготовки при газовой штамповке // Материалы IX научно-практической конференции «Рациональные пути решения социально-экономических и научно-технических проблем региона». Черкесск: КЧГТА, 2009. С. 104-107.

10. Боташев А.Ю., Байрамукوف Р.А. Разработка и исследование устройства для газовой листовой штамповки с поршневым мультипликатором давления // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2018. Т. 17, № 2. С. 132-143. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-2-132-143

11. Ерофеев В.Л., Семенов П.Д., Пряхин А.С. Теплотехника: учебник для вузов. М.: Академкнига, 2008. 488 с.

12. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: КолосС, 2007. 760 с.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF A GAS STAMPING DEVICE WITH A PISTON PRESSURE MULTIPLIER

© 2019

A. Yu. Botashev Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the Department of Technological Machines and Materials Processing; North Caucasian State Humanitarian Technological Academy, Cherkessk, Russian Federation; botashev11@mail.ru

R. A. Bayramukov Postgraduate Student of the Department of Technological Machines and Materials Processing; North Caucasian State Humanitarian Technological Academy, Cherkessk, Russian Federation; melov.mel@mail.ru

In many industries, the share of small-scale production plants is significant. In these conditions, compared with traditional methods of pressure treatment, pulse pressure treatment methods, one of the varieties of which is gas stamping, are more efficient. However, the known devices of gas stamping provide mainly stamping of thin-walled parts. To expand the technological capabilities of gas stamping, the authors developed a gas stamping device with a piston pressure multiplier, in which heating and deformation of the stamping workpiece is carried out using the energy of combustion of fuel mixtures in the combustion chamber, in the working cylinder and in the cavity of the matrix. This article is devoted to the study of the workflow of this device. Theoretical analysis of the workflow was carried out, and, as a result, a pattern was determined for the variation of the pressure that performs the stamping process in the working cylinder. In particular, it was found that at the final stage of the stamping process, due to the energy of combustion of the fuel mixture, the pressure in the working cylinder increases 1.5...2 times, which allows a significant increase in the thickness of the parts to be stamped. An experimental gas stamping device with a piston pressure multiplier was developed, and experimental studies were carried out. The studies confirmed the main results of the theoretical analysis: the discrepancy between the theoretical and experimental values of the degree of pressure multiplication in the working cylinder does not exceed 11%.

Gas stamping; piston pressure multiplier; working cylinder; combustion chamber; fuel mixture.

Citation: Botashev A.Yu., Bayramukov R.A. Theoretical and experimental studies of a gas stamping device with a piston pressure multiplier. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. V. 18, no. 1. P. 163-173. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-1-163-173

References

1. Il'in L.N., Semenov E.I. *Tekhnologiya listovoy shtampovki: uchebnik dlya vuzov* [Technology of sheet forming]. Moscow: Drofa Publ., 2009. 475 p.
2. Bychkov S.A., Borisevich V.K., Krivtsov V.S., Bragin A.P. On the concept of using technological criteria for selecting pulsed sheet metal stamping technologies. *Aerospace Technic and Technology*. 2007. No. 11 (47). P. 222-231. (In Russ.)
3. Borisevich V.K., Naryzhnyi A.G., Molodykh S.I. The influence of the transmission medium on the deformation and accuracy of the part during impulsive punching. *Aerospace Technic and Technology*. 2007. No. 11 (47). P. 173-181. (In Russ.)
4. Taranenko M.E. Forming possibilities of internal panel of a car door made of high-strength materials at electrohydraulic presses. *Kuznechno-shtampovnoye proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*. 2014. No. 9. P. 34-40. (In Russ.)
5. Sukhov V.V. Experience of developing gas explosion systems with multipoint initiation of methane-oxygen mixture detonation. *Aerospace Technic and Technology*. 2007. No. 11 (47). P. 182-185. (In Russ.)
6. Musaev A.A. Experimental studies of gas sheet forming using two-chamber device. *Blanking Production in Mechanical Engineering*. 2012. No. 4. P. 19-23. (In Russ.)
7. Yakovlev S.S., Yakovlev S.P., Chudin V.N., Sobolev Ya.A., Tregubov V.I., Larin S.N. *Izotermicheskaya pnevmoformovka anizotropnykh vysokoprochnykh listovykh materialov* [Isothermal pressure forming of anisotropic high-strength sheet materials]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2009. 352 p.
8. Gladchenko A.L., Ol'khovskiy Yu.V. *Sposob gazovoy detonatsionnoy shtampovki* [Gas detonation stamping method]. Patent RF, no. 2042458, 1995. (Publ. 27.08.1995)
9. Bisilov N.U. Dinamika nagreva zagotovki pri gazovoy shtampovke. *Materialy IX nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ratsional'nye puti resheniya sotsial'no-ekonomicheskikh i nauchno-tekhnicheskikh problem regiona»*. Cherkessk: KChGTA Publ., 2009. P. 104-107. (In Russ.)
10. Botashev A.Yu., Bayramukov R.A. Development and research of a device for gas sheet stamping with a piston pressure multiplier. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical engineering*. 2018. V. 17, no. 2. P. 132-143. DOI: 10.18287/2541-7533-2018-17-2-132-143. (In Russ.)
11. Erofeev V.L., Semenov P.D., Pryakhin A.S. *Teplotekhnika: uchebnik dlya vuzov* [Heat engineering: Textbook for high schools]. Moscow: Akademkniga Publ., 2008. 488 p.
12. Plaksin Yu.M., Malakhov N.N., Larin V.A. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Processes and equipment for food production]. Moscow: KolosS Publ., 2007. 760 p.