

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГАЗОВОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ С ПОРШНЕВЫМ МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ ДАВЛЕНИЯ

© 2018

**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](mailto: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](mailto:melov.mel@mail.ru)

Традиционно листовая штамповка осуществляется в холодном состоянии обрабатываемой заготовки. При этом ввиду ограниченной пластичности заготовки штамповка деталей сложной формы производится за несколько технологических переходов, что значительно повышает себестоимость их производства. Статья посвящена разработке и исследованию устройства, обеспечивающего штамповку деталей с нагревом обрабатываемой заготовки. Устройство содержит матрицу и рабочий цилиндр, между которыми располагается штампуемая заготовка, а также камеру сгорания, отделённую от рабочего цилиндра поршнем. Нагрев листовой заготовки и её штамповка осуществляются в два этапа в течение 1...2 с воздействием на неё продуктов сгорания газовых смесей. На первом этапе нагрев и деформирование заготовки производится воздействием продуктов сгорания, образующихся в полости матрицы и рабочем цилиндре, а на втором – за счёт энергии продуктов сгорания, образующихся в камере сгорания. Проведено исследование рабочего процесса разработанного устройства. Установлены закономерности изменения давления и температуры газа, осуществляющего нагрев и деформирование штампуемой заготовки. Найдены оптимальные соотношения объёмов камеры сгорания и рабочего цилиндра. В разработанном устройстве, благодаря нагреву заготовки, обеспечивается штамповка деталей сложной формы за одну технологическую операцию. По сравнению с существующими аналогами в данном устройстве давление на поверхности обрабатываемой заготовки в 2...3 раза выше, что обеспечивает штамповку деталей большой толщины, а также деталей из труднодеформируемых сплавов.

*Листовая штамповка; газовая штамповка; устройства для штамповки; поршневой мультипликатор давления; газообразная топливная смесь; нагрев заготовки.*

---

**Цитирование:** Боташев А.Ю., Байрамуков 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

### Введение

Листовая штамповка является основным способом обработки листовых материалов и по этой причине применяется практически во всех отраслях промышленности [1]. Традиционно листовая штамповка осуществляется в холодном состоянии обрабатываемой заготовки. При этом ввиду ограниченной пластичности заготовок штамповка деталей сложной формы производится за несколько технологических переходов, используя на каждом из них соответствующую штамповую оснастку, что значительно повышает себестоимость производства штампованных изделий. Нагрев заготовки, повышая её пластичность, позволяет уменьшить количество технологических переходов при штамповке. Кроме того, в промышленном производстве всё шире используются малопластичные сплавы алюминия, титана, вольфрама и других металлов. Штамповку деталей из этих сплавов целесообразно производить с нагревом заготовки. Причём нагрев заготовки необходимо производить непосредственно в полости штамповой оснастки,

так как нагретая листовая заготовка быстро остывает. Известны метод газотермической формовки и устройства для его реализации [2; 3], в которых нагрев и деформирование обрабатываемой заготовки осуществляются длительным воздействием на неё горячего инертного газа. Этот метод обеспечивает формовку деталей из малопластичных сплавов, однако большой расход энергоносителя чрезмерно удорожает производство. Поэтому этот метод используется в основном в аэрокосмической отрасли. Известны также устройства газовой штамповки [4; 5] и газодетонационной штамповки [6], в которых процесс штамповки осуществляется воздействием на листовую заготовку давления продуктов сгорания газовых смесей или детонационной волны. При этом под воздействием продуктов сгорания и детонации происходит нагрев обрабатываемой заготовки, однако из-за кратковременности процесса температура заготовки существенно не повышается. Увеличение времени воздействия высокотемпературной газовой среды позволяет существенно повысить температуру обрабатываемой заготовки. Это реализовано в устройствах газовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки [7; 8] и в устройствах газовой формовки с противодействием [9; 10]. В этих устройствах деформирование обрабатываемой заготовки производится после нагрева её до интервала температур тёплой или горячей обработки воздействием продуктов сгорания газоздушных смесей. Это обеспечивает получение деталей сложной формы за одну технологическую операцию. Однако энергии продуктов сгорания хватает для штамповки лишь тонкостенных деталей, в частности стальных деталей толщиной до 1...1,5 мм. Это ограничивает технологические возможности газовой штамповки.

Целью данной работы является расширение технологических возможностей газовой штамповки.

### Постановка задачи

Расширение технологических возможностей газовой штамповки достигается путём мультипликации давления газа, действующего на поверхность обрабатываемой заготовки [11]. Это реализовано в устройстве газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, схема которого представлена на рис. 1.

Устройство содержит корпус 1 и матрицу 2 с внутренней полостью 3, соединённые между собой при помощи болтов 4 и гаек 5. В корпусе размещены рабочий цилиндр 6 с поршнем 7 и камера сгорания 8. Устройство устанавливается на опоре 22.

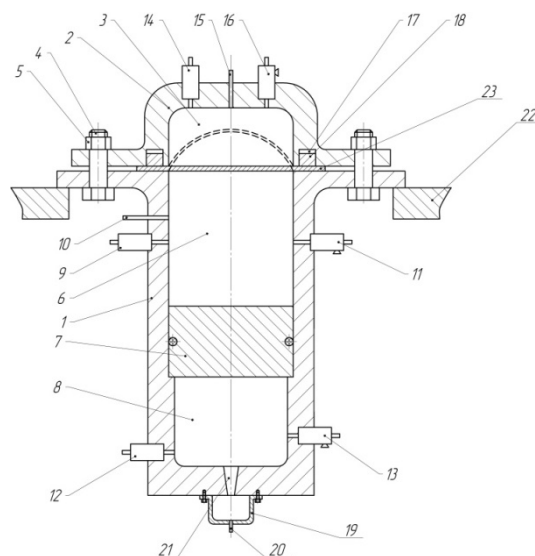


Рис. 1. Схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления

Работа устройства осуществляется следующим образом. В кольцевую полость 17 подаётся сжатый воздух или жидкость под давлением, при этом кольцевой поршень 18 осуществляет прижим фланцевой части заготовки 23, что обеспечивает герметичность полости 3 матрицы 2 и рабочего цилиндра 6. Через впускные клапаны 14, 9, 12 в полость 3, рабочий цилиндр 6 и камеру сгорания 8 последовательно подаётся горючий газ, например пропан-бутан, и сжатый воздух, в результате чего в этих полостях и в форкамере 19 образуются топливные смеси. В рабочем цилиндре 6 и камере сгорания 8 устанавливается одинаковое давление топливной смеси, а в полости 3 её давление устанавливается в 2...3 раза ниже. Затем при помощи свеч 10 и 15 осуществляется зажигание топливных смесей в рабочем цилиндре 6 и полости 3. В результате сгорания топливных смесей давление в полости 3 и рабочем цилиндре 6 многократно повышается. При этом давление в цилиндре 6 в 2...3 раза превышает давление в полости 3. Под действием разности давлений заготовка 23 деформируется, то есть осуществляется её вытяжка в полость матрицы 2. При этом происходит интенсивное пластическое течение металла с фланцевой части заготовки.

В процессе вытяжки заготовки усилие деформирования увеличивается, повышается также давление газа в полости 3 вследствие его сжатия. Поэтому на определённой глубине матрицы 2 вытяжка заготовки прекращается (на рис. 1 это показано штриховой линией). В этом положении заготовка находится в течение 0,5...1 с, при этом под действием продуктов сгорания заготовка интенсивно нагревается. В процессе её нагрева температура продуктов сгорания снижается, соответственно уменьшается и давление в полости 3 и цилиндре 6. Затем при помощи свечи 20 производится зажигание топливной смеси в форкамере 19. При сгорании топливной смеси из форкамеры через канал 21 вырывается факел пламени. Это вызывает интенсивное сгорание топливной смеси в камере сгорания 8. При этом в течение 0,005...0,01 с давление в камере сгорания увеличивается в 7...8 раз. Под действием этого давления поршень 7 ускоренно перемещается, сжимая газ в рабочем цилиндре 6. При этом давление и температура газа в цилиндре интенсивно увеличиваются. Это обеспечивает дальнейший нагрев заготовки до достижения интервала температур горячей обработки.

После этого открывается выпускной клапан 16 и газ из полости 3 выпускается. При этом под действием давления газа в цилиндре 6 заготовка, деформируясь, заполняет всю полость матрицы 1 – процесс штамповки завершается. После этого открываются выпускные клапаны 11, 13 и продукты сгорания выпускаются из цилиндра 6 и камеры сгорания 8. Затем, отсоединив матрицу 2 от корпуса 1, извлекают отштампованную деталь.

Таким образом, в данном устройстве процесс штамповки осуществляется в два этапа. На первом этапе нагрев и деформирование заготовки происходит за счёт энергии, выделившейся при сгорании топливной смеси в рабочем цилиндре. На втором этапе за счёт энергии сгорания топливной смеси в камере сгорания производится мультипликация давления газа в рабочем цилиндре, сопровождающаяся увеличением его температуры, что завершает нагрев заготовки и её деформирование. При этом достижение максимального эффекта, обеспечивающего существенное расширение технологических возможностей устройства штамповки, возможно только при оптимальном сочетании его параметров. В этой связи необходимо решение следующей задачи: определение оптимального соотношения объёмов камеры сгорания и рабочего цилиндра, обеспечивающего максимальную степень повышения давления и температуры газа на поверхности штампуемой заготовки.

### Решение задачи

Решение задачи проведено на основе уравнений термодинамики и динамики твёрдого тела. Процесс сгорания топливной смеси в рабочем цилиндре протекает практически при постоянном объёме, поэтому давление и абсолютную температуру продуктов сгорания можно определить по следующим зависимостям:

$$P_z = P_c \lambda, \quad (1)$$

$$T_z = T_c \lambda, \quad (2)$$

где  $P_z$  – давление продуктов сгорания в конце процесса сгорания;  $P_c$  – давление топливной смеси;  $T_z, T_c$  – абсолютные температуры продуктов сгорания и топливной смеси;  $\lambda$  – степень повышения давления при сгорании в постоянном объёме. При использовании газоздушных топливных смесей  $\lambda = 7 \dots 8$ , при этом абсолютная температура  $T_z$  продуктов сгорания составляет 2300...2400 К.

В процессе нагрева обрабатываемой заготовки газ в цилиндре охлаждается и его абсолютная температура уменьшается до  $T_{ц1}$ . При штамповке стальных деталей абсолютная температура снижается до 900...1000 К, а при штамповке алюминиевых сплавов – до 700...800 К. Таким образом,  $T_z/T_{ц1} \approx 2,5 \dots 3$ , то есть абсолютная температура газа в цилиндре снижается в 2,5...3 раза. Следовательно во столько же раз уменьшается и давление газа в цилиндре.

Так как давление топливных смесей в рабочем цилиндре и камере сгорания одинаковое, то давление и абсолютная температура продуктов сгорания в камере сгорания также определяются зависимостями (1) и (2), то есть давление равно  $P_z$ , а температура равна  $T_z$ . Тогда к началу второго этапа процесса штамповки давление в камере сгорания в  $\Pi$  раз превышает давление в рабочем цилиндре:

$$\Pi = P_z / P_{ц1}, \quad (3)$$

где  $P_{ц1}$  – давление газа в цилиндре в конце первого этапа процесса штамповки. Согласно вышеизложенному величина  $\Pi$  находится в пределах 2,5...3.

Рассмотрим рабочий процесс устройства для штамповки в период мультипликации давления в рабочем цилиндре, который начинается при движении поршня. Исследование этого процесса проведём при следующих допущениях: движение поршня начинается после завершения процесса сгорания; отсутствует теплоотвод от газа в стенки рабочего цилиндра и камеры сгорания. Длительность процесса сгорания топливной смеси не превышает 0,01 с. За это время перемещение поршня очень мало, и им можно пренебречь. В процессе движения поршня тепловые потери сравнительно невелики. В поршневых двигателях внутреннего сгорания они составляют около 10% [12;13]. В данном случае условия аналогичные, поэтому тепловые потери не превышают 10% и существенно не влияют на исследуемые параметры устройства для штамповки.

Перемещение поршня происходит под действием разности давлений между камерой сгорания и рабочим цилиндром. Исходя из этого, запишем уравнения движения поршня:

$$\frac{dX}{dt} = W, \quad (4)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{f_u}{m} (P_\kappa - P_u), \quad (5)$$

где  $X, W$  – перемещение и скорость поршня;  $P_\kappa, P_u$  – текущие значения давления в камере сгорания и рабочем цилиндре;  $m$  – масса поршня;  $f_u$  – площадь поперечного сечения цилиндра;  $t$  – время.

В процессе движения поршня в камере сгорания происходит адиабатическое расширение газа, а в рабочем цилиндре происходит адиабатическое сжатие газа. При этом объём камеры сгорания увеличивается на  $f_u X$ , а объём рабочего цилиндра уменьшается на такую же величину. Тогда, используя известные зависимости адиабатического процесса [14] и соотношение (3), можно записать:

$$P_\kappa = P_{\kappa 1} \left( \frac{V_\kappa}{V_\kappa + f_u X} \right)^k = P_z \left( \frac{1}{1 + f_u X / V_\kappa} \right)^k, \quad (6)$$

$$P_u = P_{u 1} \left( \frac{f_u h}{f_u h - f_u X} \right)^k = P_{u 1} \left( \frac{1}{1 - X/h} \right)^k, \quad (7)$$

где  $P_{\kappa 1}$  – давление газа в камере сгорания перед началом движения поршня,  $P_{\kappa 1} = P_z$ ;  $V_\kappa$  – начальный объём камеры сгорания;  $h$  – начальная высота цилиндра;  $k$  – показатель адиабаты продуктов сгорания.

Введём следующие безразмерные величины:

$$\bar{P}_\kappa = \frac{P_\kappa}{P_z}, \quad \bar{P}_u = \frac{P_u}{P_z}, \quad x = \frac{X}{h}, \quad \tau = \frac{t}{t_z}, \quad \bar{w} = \frac{t_z}{h} W, \quad v_\kappa = \frac{V_\kappa}{f_u h},$$

где  $\bar{P}_\kappa, \bar{P}_u$  – безразмерные давления газа в камере сгорания и цилиндре;  $x$  – относительное перемещение поршня;  $\bar{w}$  – безразмерная скорость поршня;  $\tau$  – безразмерное время;  $t_z$  – характерное время, равное длительности процесса сгорания в рабочем цилиндре;  $v_\kappa$  – относительный объём камеры сгорания.

Подставляя эти величины в (4) – (7), получим:

$$\frac{dx}{d\tau} = \bar{w}, \quad (8)$$

$$\frac{d\bar{w}}{d\tau} = N (\bar{P}_\kappa - \bar{P}_u), \quad (9)$$

$$\bar{P}_\kappa = \left( \frac{1}{1+x/v_\kappa} \right)^k, \quad (10)$$

$$\bar{P}_\eta = \frac{1}{\Pi} \frac{1}{(1-x)^k}, \quad (11)$$

$$N = \frac{t_z^2 f_\eta P_\kappa}{mh}. \quad (12)$$

Начальные условия дифференциальных уравнений (8) и (9) имеют следующий вид:

$$\text{при } \tau = 0 \quad x = 0, \quad \bar{w} = 0. \quad (13)$$

Система (8) – (12) в совокупности с начальными условиями (13) описывает движение поршня и изменение параметров газа в камере сгорания и цилиндре.

Преобразуем уравнение (9). Подставим

$$\frac{d\bar{w}}{d\tau} = \frac{dx}{d\tau} \cdot \frac{d\bar{w}}{dx} = \bar{w} \frac{d\bar{w}}{dx} = \frac{d\frac{\bar{w}^2}{2}}{dx}$$

в (9) и получим:

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{w}^2}{dx} = N (\bar{P}_\kappa - \bar{P}_\eta).$$

Отсюда будем иметь:

$$\frac{1}{2} d\bar{w}^2 = N (\bar{P}_\kappa - \bar{P}_\eta) dx.$$

Тогда, учитывая (10) и (11), получим:

$$\frac{1}{2} d\bar{w}^2 = N \left( \frac{1}{(1+x/v_\kappa)^k} - \frac{1}{\Pi (1-x)^k} \right) dx.$$

Интегрируя обе части этого уравнения, получим:

$$\frac{1}{2} \bar{w}^2 = \frac{N v_\kappa}{1-k} \left( 1 + \frac{x}{v_\kappa} \right)^{(1-k)} + \frac{N}{\Pi(1-k)} (1-x)^{1-k} + C. \quad (14)$$

Постоянную интегрирования  $C$  определим из условия:  $x = 0; \bar{w} = 0$ :

$$C = -\frac{Nv_k\Pi + N}{\Pi(1-k)}.$$

Подставляя это в (14), получим закон изменения скорости поршня при его движении:

$$\bar{w} = \left( \frac{2N}{\Pi(k-1)} \left( v_k\Pi + 1 - \frac{v_k\Pi}{\left(1 + \frac{x}{v_k}\right)^{k-1}} - \frac{1}{(1-x)^{k-1}} \right) \right)^{1/2}. \quad (15)$$

Дальнейшее интегрирование полученной зависимости для определения скорости и перемещения поршня в функции от времени не представляется возможным. Поэтому общее решение системы (8) – (12) может быть получено численными методами, например методом Рунге-Кутты [15].

Используя (15), определим максимальный относительный ход поршня  $x$ , то есть до его остановки, при которой имеет место максимальное сжатие газа в рабочем цилиндре. Считая  $\bar{w} = 0$ , из (15) получим:

$$v_k\Pi + 1 - \frac{v_k\Pi}{\left(1 + \frac{x}{v_k}\right)^{k-1}} - \frac{1}{(1-x)^{k-1}} = 0. \quad (16)$$

Обозначим:

$$\psi(x) = v_k\Pi \left( 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{v_k}\right)^{k-1}} \right), \quad (17)$$

$$\varphi(x) = \frac{1}{(1-x)^{k-1}} - 1. \quad (18)$$

Тогда (16) можно представить в следующем виде:

$$\psi(x) = \varphi(x). \quad (19)$$

Решение уравнения (19) проведено графически. Точки пересечения графиков  $\varphi(x)$  с графиками  $\psi(x)$  определяют искомые значения  $x$ , то есть  $x = x_k$ , являющиеся решениями уравнения (19). Согласно зависимостям (17) величина  $\psi(x)$  зависит от  $v_k, \Pi$ , поэтому на рис. 2 найденные значения  $x_k$  представлены в виде графиков зависимости  $x_k$  от  $v_k$  при различных значениях  $\Pi$ . Как видно из этих графиков, с ростом

$v_k$  величина  $x_k$  увеличивается, но при  $v_k > 2,5$  интенсивность роста  $x_k$  существенно снижается.

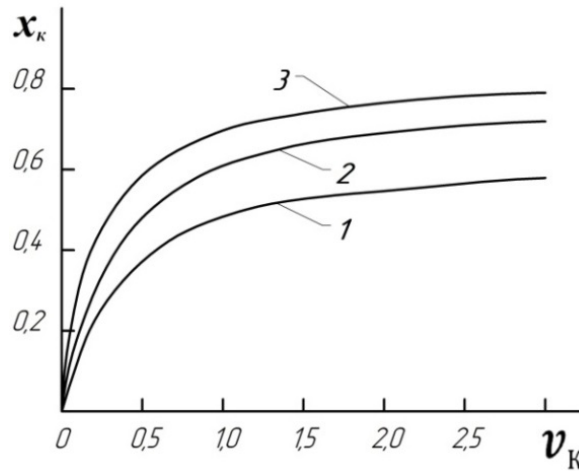


Рис. 2. Зависимость  $x_k$  от  $v_k$  при различных значениях  $\Pi$ :  
 1 –  $\Pi = 2$ ; 2 –  $\Pi = 2,5$ ; 3 –  $\Pi = 3$

Величина  $x_k$  определяет максимальное сжатие газа в рабочем цилиндре. Тогда, учитывая, что  $x = X/h$ , из зависимости (7) получим выражения для определения максимального давления и степени повышения давления газа в рабочем цилиндре:

$$P_{u\max} = \frac{P_{u1}}{(1 - x_k)^k} \tag{20}$$

$$\Pi_u = \frac{P_{u\max}}{P_{u1}} = \frac{1}{(1 - x_k)^k} \tag{21}$$

### Результаты решения задачи

Так как  $x_k$  существенно зависит от  $v_k$  и  $\Pi$ , то и степень повышения давления  $\Pi_u$  зависит от этих величин. На рис. 3 представлены построенные по зависимости (21) графики зависимости  $\Pi_u$  от  $v_k$  при различных значениях  $\Pi$ . Из этих графиков видно, что с увеличением относительного объёма камеры сгорания  $v_k$  степень повышения давления в цилиндре  $\Pi_u$  непрерывно увеличивается, но при  $v_k > 2$  интенсивность её роста существенно снижается. Исходя из этого и учитывая увеличение габаритных размеров камеры сгорания с ростом  $v_k$ , можно считать оптимальными значения  $v_k$  в пределах 1,5...2,5. При  $v_k = 2,5$  в зависимости от величины  $\Pi$  давление газа в цилиндре повышается в 5...7 раз.

Первоначальное соотношение давлений между камерой сгорания и рабочим цилиндром  $\Pi$  существенно влияет на степень повышения давления в цилиндре  $\Pi_u$ . Чем больше  $\Pi$ , тем выше и  $\Pi_u$ . При этом следует отметить, что при  $v_k = 2,5$  величина  $\Pi_u$  в 2...2,5 раза превышает  $\Pi$ . Следовательно, во столько же раз максимальное давление



газа в рабочем цилиндре превышает максимальное давление газа в камере сгорания. Это давление, действуя на поверхность штампуемой заготовки, обеспечивает дальнейшую её деформацию. Причём максимальное давление газа действует в конечной стадии процесса штамповки, когда усилие деформирования заготовки достигает максимального значения. Это даёт возможность увеличить в 2...3 раза толщину штампуемых деталей.

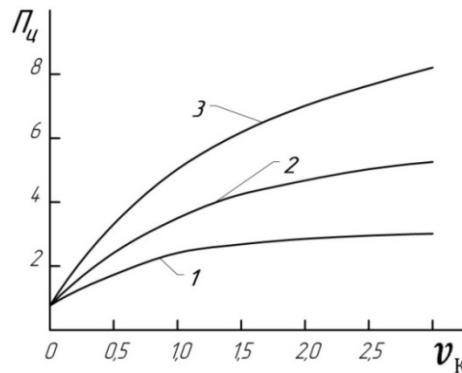


Рис. 3. Зависимость степени повышения давления газа в рабочем цилиндре от относительного объёма камеры сгорания  $v_k$  при разных значениях  $\Pi$ :  
 1 –  $\Pi = 2$ ; 2 –  $\Pi = 2,5$ ; 3 –  $\Pi = 3$

Сжатие газа в рабочем цилиндре сопровождается увеличением температуры газа. Используя известные соотношения между давлением и температурой для адиабатического процесса [14], из зависимости (7) получим закон изменения температуры газа в цилиндре в следующем виде:

$$T_u = T_{u1} \left( \frac{1}{(1 - X/h)} \right)^{k-1}, \quad (22)$$

где  $T_{u1}$  – абсолютная температура газа в цилиндре перед началом движения поршня. Тогда, учитывая, что  $x = X/h$ , степень повышения абсолютной температуры газа в цилиндре можно представить в следующем виде:

$$\bar{T}_u = \frac{T_u}{T_{u1}} = \left( \frac{1}{(1 - x)} \right)^{k-1}. \quad (23)$$

Подставляя  $x = x_k$  в зависимость (23), получим выражение для определения максимальной степени повышения температуры в цилиндре:

$$\bar{T}_{u \max} = \left( \frac{1}{(1 - x_k)} \right)^{k-1}. \quad (24)$$

Расчёт по (24) показал, что в зависимости от значений  $v_k, \Pi$  температура газа повышается в 1,3...1,6 раза. Это обеспечивает интенсивный нагрев штампуемой заготов-

ки до достижения интервала температур горячей обработки. При этом следует отметить, что интенсивному нагреву заготовки способствует также повышение коэффициента теплоотдачи из-за увеличения давления газа [12].

### Заключение

В устройстве газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления процесс штамповки осуществляется в два этапа: на первом этапе нагрев и деформация заготовки осуществляются за счёт энергии продуктов сгорания, образующихся в рабочем цилиндре, а на втором этапе – за счёт энергии продуктов сгорания, образующихся в камере сгорания.

Повышение давления и температуры газа на поверхности штампуемой заготовки существенно зависит от соотношения объёмов камеры сгорания и рабочего цилиндра, оптимальные его значения составляют 1,5...2,5.

Сжатие поршнем продуктов сгорания в рабочем цилиндре обеспечивает в конечной стадии процесса штамповки увеличение давления в 5...7 раз, температуры в 1,3...1,6 раза, что даёт возможность увеличить в 2...3 раза толщину штампуемых деталей.

### Библиографический список

1. Ильин Л.Н., Семенов Е.И. Технология листовой штамповки: учебник для вузов. М.: Дрофа, 2009. 475 с.
2. 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.
3. Ларин С.Н. Пневмоформовка ячеистых панелей из анизотропного материала // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. Вып. 3. С. 51-61.
4. Боташев С.А. Разработка и создание устройства с камерой пульсирующего горения для листовой штамповки // Обработка материалов давлением. 2011. № 2 (27). С. 182-185.
5. Мусаев А.А. Экспериментальные исследования газовой листовой штамповки на двухкамерном устройстве // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 4. С. 19-23.
6. 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.
7. Боташев А.Ю., Бисилов Н.У. Исследование газовой листовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 3. С. 25-28.
8. Боташев А.Ю., Бисилов Н.У., Малсугенов Р.С. Устройство для листовой штамповки взрывом газовых смесей: патент РФ № 98954; опубл. 10.11.2010; бюл. № 31.
9. Малсугенов Р.С. Разработка устройства для газовой штамповки панелей спиральных теплообменников // Сб. трудов XVI международной научно-технической конференции «Современное состояние естественных и технических наук». № XVI. М.: Спутник+, 2014. С. 36-41.
10. Малсугенов Р.С. Разработка, создание и испытание устройства для газовой штамповки с противодавлением // Сб. научных трудов по итогам международной науч-

но-практической конференции «Развитие технических наук в современном мире». № 2. Воронеж: Инновационный центр развития образования и науки, 2015. С. 31-34.

11. Боташев А.Ю., Байрамукوف Р.А. Разработка устройства для штамповки биметаллических изделий воздействием высокотемпературного газа // Известия Северо-Кавказской государственной гуманитарно-технологической академии. 2017. № 3. С. 8-12.

12. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Харьков: Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 2009. 500 с.

13. Ковылов Ю.Л. Теория рабочих процессов и моделирование процессов ДВС. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2013. 416 с.

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

15. Заусаев А.Ф. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: уч. пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. 100 с.

## **DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A DEVICE FOR GAS SHEET STAMPING WITH A PISTON PRESSURE MULTIPLIER**

© 2018

**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](mailto: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](mailto:melov.mel@mail.ru)

Traditionally, sheet stamping is carried out in the cold state of the workpiece being processed. At the same time, due to the limited plasticity of the workpiece, stamping parts of complex shape is performed in several operating steps, which significantly increases the cost of production. The article is devoted to the development and research of a device providing stamping of parts with heating of the workpiece being processed. The device comprises a die and a working cylinder between which the workpiece is placed, as well as a combustion chamber separated from the working cylinder by a piston. The heating of the sheet billet and its punching is carried out in two stages within 1...2 s with its exposure to the action of gas mixture combustion products. At the first stage, the billet is heated and deformed by the combustion products formed in the die cavity and the working cylinder, whereas at the second stage these processes take place due to the energy of the combustion products formed in the combustion chamber. The workflow of the developed device was studied. The regularities of the pressure and temperature changes of the gas that heats and deforms the billet being stamped were established. The optimum proportions of the volumes of the combustion chamber and the working cylinder were determined. The developed device ensures stamping of complex-shaped parts in one process step due to the heating of the workpiece. In this device the pressure on the surface of the workpiece being processed is 2...3 times higher compared with the existing analogues, which ensures stamping of heavy-thickness parts, as well as parts made of hard-to-deform alloys.

*Sheet stamping; gas stamping; punching devices; piston pressure multiplier; gaseous fuel mixture; billet heating.*

---

*Citation:* 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

## 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. 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.
3. Larin S.N. The pneumatic forming of honeycomb panels from anisotropic material. *Izvestiya Tula State University. Technical Science*. 2010. Iss. 3. P. 51-61. (In Russ.)
4. Botashev S.A. Design and development of a sheet-forming system with a pulsating combustion chamber. *Materials Working by Pressure*. 2011. No. 2 (27). P. 182-185. (In Russ.)
5. 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.)
6. 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.)
7. Botashev A.Yu., Bisilov N.U. Research of gas sheet punching with bilateral heating of stock material. *Blanking Production in Mechanical Engineering*. 2013. No. 3. P. 25-28. (In Russ.)
8. Botashev A.Yu., Bisilov N.U., Malsugenov R.S. *Ustroystvo dlya listovoy shtampovki vzryvom gazovykh smesey* [Explosive gas sheet forming system: utility model patent]. Patent RF, no. 98954, 2010. (Publ. 10.11.2010, bull. no. 31)
9. Malsugenov R.S. Razrabotka ustroystva dlya gazovoy shtampovki paneley spiral'nykh teploobmennikov. *Sb. trudov XVI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennoye sostoyaniye estestvennykh i tekhnicheskikh nauk»*. No. XVI. Moscow: Sputnik + Publ., 2014. P. 36-41. (In Russ.)
10. Malsugenov R.S. Razrabotka, sozdaniye i ispytaniye ustroystva dlya gazovoy shtampovki s protivodavleniyem. *Sb. nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Razvitiye tekhnicheskikh nauk v sovremennom mire»*. No. 2. Voronezh: Innovatsionnyy Tsentr Razvitiya Obrazovaniya i Nauki Publ., 2015. P. 31-34. (In Russ.)
11. Botashev A.Yu., Bairamukov R.A. The development of a device for stamping bimetallic products under pressure of high-temperature gas. *Izvestiya Severo-Kavkazskoy gosudarstvennoy gumanitarno-tekhnologicheskoy akademii*. 2017. No. 3. P. 8-12. (In Russ.)
12. D'yachenko V.G. *Teoriya dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Theory of internal combustion engines]. Kharkov: Kharkov National Automobile and Highway University Publ., 2009. 500 p.
13. Kovylov Yu.L. *Teoriya rabochikh protsessov i modelirovaniye protsessov DVS* [Theory of work processes and modeling of internal combustion engine processes]. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2013. 416 p.
14. 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.
15. Zausaev A.F. *Raznostnyye metody resheniya obyknovennykh differentsial'nykh uravneniy: uch. posobiye* [Difference methods for solving ordinary differential equations]. Samara: Samara State Technical University Publ., 2010. 100 p.