

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая
академия»

Байрамуков Рашид Альбертович

Разработка и исследование технологии и устройства для газовой
штамповки с поршневым мультипликатором давления

05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Боташев Анвар Юсуфович, д.т.н, профессор

Черкесск – 2018

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Во многих отраслях промышленности значительна доля мелкосерийных производств. В условиях мелкосерийных производств по сравнению с традиционными методами штамповки более эффективны импульсные методы листовой штамповки. Однако эти методы не обеспечивают нагрев штампуемой заготовки, поэтому не достаточно эффективны для производства деталей из труднодеформируемых сплавов. Нагрев листовой заготовки необходимо осуществлять непосредственно в полости матрицы, так как она быстро остывает из-за большой площади ее поверхности. В настоящее время для интенсивного нагрева металлов в основном используют плазменный, лазерный и электрический методы нагрева. Использование этих методов для нагрева листовой заготовки в полости матрицы существенно усложняет и удорожает штамповую оснастку. Для осуществления в полости матрицы нагрева заготовки и последующего ее деформирования более приемлема газовая штамповка с двухсторонним нагревом заготовки, обеспечивающая интенсивный нагрев штампуемой заготовки до интервала температур теплой или горячей обработки. Однако при этом давление, действующее на поверхность заготовки, имеет сравнительно невысокую величину. Поэтому данный метод обеспечивает штамповку лишь тонкостенных деталей, что ограничивает сферу его применения. В этой связи совершенствование метода листовой газовой штамповки и разработка новых конструкций устройства газовой штамповки, обеспечивающих штамповку листовых деталей значительно большей толщины за счет применения мультипликации давления газа, является актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках Федеральной программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса «УМНИК» (договор №5799ГУ1/2014 от 05.06.2015, договор №10739ГУ2/2016 от 14.11.2016).

Целью работы является расширение технологических возможностей газовой штамповки путем разработки новой конструкции устройства газовой штамповки, обеспечивающей существенное повышение давления и температуры газа на поверхности обрабатываемой заготовки.

Для выполнения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи:

- выполнить обзор существующих методов листовой газовой штамповки
- выполнить анализ путей расширения технологических возможностей газовой штамповки и конструктивных решений для их реализации;
- выполнить разработку конструктивной схемы устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- провести теоретическое исследование рабочего процесса газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления и оптимизацию его работы;
- выполнить разработку и создание экспериментального устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- выполнить разработку технологии производства штамповки сферообразных днищ на устройстве газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;

- провести экспериментальные исследования рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- выполнить практическую апробацию устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления и оценку его технологических возможностей.

Достоверность результатов теоретических исследований подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных на созданном оборудовании.

Методика исследования. Теоретические исследования проводились с использованием уравнений пластичности, динамики твердого тела, термодинамики и теплопередачи.

Научная новизна.

- установлены закономерности рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, нашедшие экспериментальное подтверждение;
- разработана математическая модель рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления и определены оптимальные соотношения параметров этого процесса;
- разработана методика проектирования устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- разработаны новые способы получения биметаллических изделий методом газовой штамповки.

Практическая значимость.

- разработан и создан новый тип кузнечно-штамповочного оборудования – устройство газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, осуществляющее штамповку листовых деталей из стали и цветных сплавов с нагревом заготовки до интервала температур теплой и горячей обработки;
- разработана технология штамповки на устройстве газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- в данном устройстве давление газа, действующее на обрабатываемую заготовку, в 4...5 раз выше, чем в известных устройствах газовой штамповки, что дает возможность штамповать детали значительно большей толщины, а так же изделия из малопластичных и труднодеформируемых материалов.
- данное устройство обеспечивает так же получение биметаллических штампованных изделий из листовых разнородных материалов, что позволяет существенно снизить себестоимость производства этих изделий.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих конференциях, конкурсах: Конкурс по отбору проектов по федеральной программе «УМНИК» от “4” декабря 2014 г., «Методика и методология» инновационной активности и инвестиционной привлекательности» (Черкесск БИЦ СевКавГГТА, 2015 г.), «Рациональные пути решения социально-экономических, научно-технических и кадровых проблем региона» (Черкесск, 2016 г.), Конкурс по отбору проектов по программе «УМНИК» от “12” мая 2016 г., «Интеграция науки, общества, производства и промышленности» (Казань, 13

января 2017 г.), «Инновационные технологии нового тысячелетия» (Пермь, 25 сентября 2016 г.), «Актуальные проблемы современной науки: состояние, тенденции развития: I Всероссийской научно-практической конференции» (Черкесск, 2017 г.).

Разработанное устройство газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления демонстрировалось в 2018 г. на XXI Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед» и удостоено серебряной медали.

На защиту выносятся.

- разработанные новые конструктивные схемы устройств газовой штамповки;
- конструкция разработанного и созданного устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- разработана математическая модель рабочего процесса устройства газовой штамповки с мультипликатором давления;
- результаты экспериментальных исследований рабочего процесса устройства газовой штамповки с мультипликатором давления;
- разработанные новые способы получения биметаллических штампованных изделий

Публикации. По тематике диссертации были опубликованы 13 научных работ, 2 из которых опубликованы в ведущих изданиях рекомендованных ВАК, а также 3 патента на полезные модели и 2 патента на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает в себя введение, шесть глав, основные результаты и выводы, список литературы из 125 наименований. Основная часть работы изложена на 158 страницах, содержит 71 рисунок и 7 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

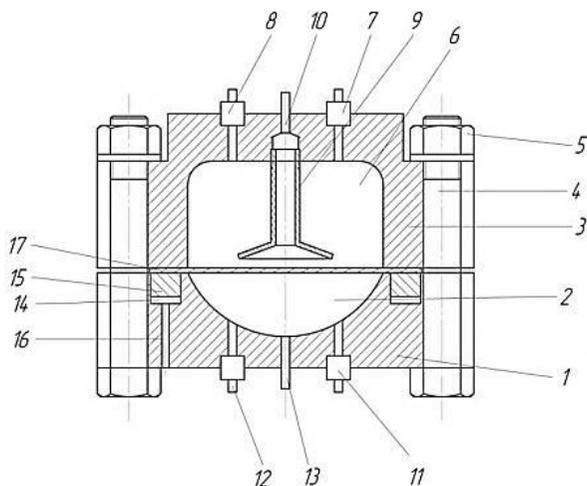
Во введении обоснованы актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе был проведен обзор и анализ известных методов газовой штамповки листовых заготовок, а так же существующего оборудования для их реализации. Исходя из проведенного анализа, был сделан вывод о том, что в существующих устройствах газовой штамповки давление, действующее на поверхность обрабатываемой заготовки, имеет сравнительно невысокую величину, поэтому эти устройства обеспечивают штамповку только тонкостенных деталей. В связи с этим были обоснованы цели и задачи исследований для создания новой конструкции устройства листовой газовой штамповки, обеспечивающей существенное повышение давления газа на поверхности штампуемой заготовки.

Во второй главе был проведен анализ возможных конструктивных схем устройств газовой штамповки с мультипликацией давления и температуры. Рассмотрены три схемы устройства: схема устройства газовой штамповки с форкамерно-факельным зажиганием, схема устройства газовой штамповки со ступенчатой камерой сгорания, схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления.

На рисунке 1 представлена схема устройства газовой штамповки с форкамерно-факельным зажиганием. Эта схема позволяет значительно увеличить температуру газа на поверхности штампуемой заготовки за счет перераспределения температуры газа в камере сгорания. Работа устройства осуществляется следующим образом. Полость 2 матрицы 1 и камера сгорания 6 через впускные клапаны 11 и 7 наполняются горючим газом и сжатым воздухом, и в них образуются топливные смеси одинакового давления. В полости 2 топливная смесь поджигается свечей 11. Одновременно свеча 10 зажигает топливную смесь в форкамере 9. При сгорании топливной смеси в форкамере 9 формируется факел пламени, который зажигает топливную смесь на поверхности штампуемой заготовки 17. Затем фронт пламени перемещается вглубь камеры сгорания 6. В процессе горения топливной смеси давление в камере сгорания 6 увеличивается. При этом происходит сжатие продуктов сгорания на поверхности заготовки 17. Благодаря этому температура газа на поверхности заготовки достигает 2700...2800 °С, а в глубине камеры сгорания она не превышает 2000 °С. Под воздействием продуктов сгорания заготовка 17 интенсивно нагревается до заданной температуры. Затем продукты сгорания выпускаются из полости 2 матрицы 1. При этом под действием давления газа, находящегося в камере сгорания 6 совершается процесс штамповки.

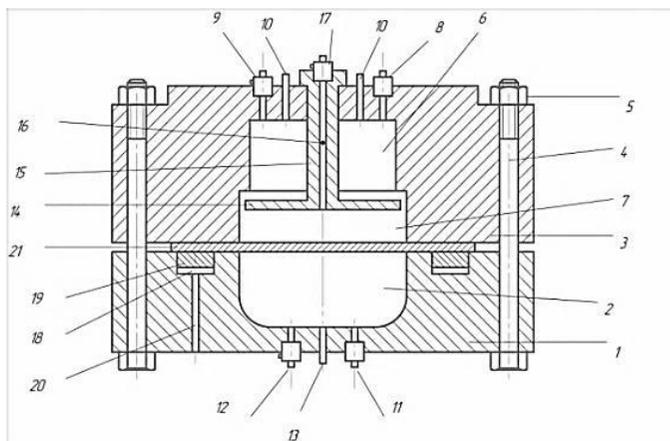
В рассмотренном устройстве благодаря дополнительному увеличению на 700...800 °С температуры газа на поверхности заготовки, а так же повышению коэффициента теплоотдачи достигается увеличение на 35...40% количество теплоты, воспринимаемой заготовкой, что существенно повышает температуру нагрева заготовки.



- 1 – матрица; 2 – внутренняя полость; 3 – корпус; 4 – болты; 5 – гайки; 6 – камера сгорания; 7, 11 – впускные клапаны; 8, 12 – выпускные клапаны; 9 – форкамера; 10, 13 – свечи зажигания; 14 – кольцевая полость; 15 – кольцевой поршень; 16 – канал; 17 – заготовка

Рисунок 1 – Устройство газовой штамповки с форкамерно-факельным зажиганием топливной смеси (патент РФ на полезную модель №169410)

На рисунке 2 представлена схема устройства газовой штамповки со ступенчатой камерой сгорания. Конструктивной особенностью этой схемы является то, что камера сгорания снабжена подвижным диском, разделяющим ее на две полости. Работа устройства осуществляется следующим образом. Через впускные клапаны 8 и 11 полость 2 матрицы 1 и камера сгорания наполняются горючим газом и сжатым воздухом, в результате чего в них образуются топливные смеси одинакового давления. Затем при помощи свечи 10 и 13 топливные смеси поджигаются. При сгорании топливной смеси в полости 2 матрицы 1 давление увеличивается в 7...8 раз. Одновременно с этим горение происходит и в полости 6 камеры сгорания. При этом по мере перемещения фронта пламени в направлении диска 14, часть топливной смеси вытесняется из полости 6 в полость 7. В результате этого к моменту достижения фронта пламени полости 7 давление топливной смеси в ней увеличивается в 2,5 ... 3 раза. При сгорании этой смеси происходит резкое увеличение давления в полости 7, и под действием этого давления диск 14 со штоком 15 перемещается вверх и перекрывает полость 6, предотвращая утечку газа из второй полости камеры сгорания 7 в первую полость 6. После горения топливной смеси давление в полости 7 увеличивается в 6...7 раз. Таким образом, благодаря предварительному сжатию топливной смеси и ее сгоранию давление в полости 7 увеличивается в 15...20 раз. Поэтому давление в полости 7 становится в 2...3 раза выше давления продуктов сгорания в полости 2 матрицы 1. Под действием разности давлений заготовка 21 деформируется в направлении матрицы 1. При этом давление в полости 7 снижается, а в полости 2 повышается. Вследствие этого деформация заготовки 21 прекращается.



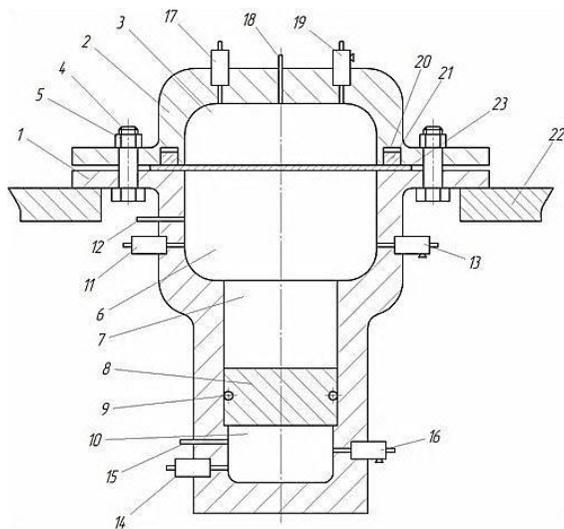
- 1 – матрица; 2 – внутренняя полость; 3 – корпус; 4 – болты; 5 – гайки;
 6, 7 – полости камеры сгорания; 8, 11 – впускные клапаны;
 9, 12, 17 – выпускные клапаны; 10, 13 – свечи зажигания; 14 – диск;
 15 – шток; 16 – сквозной канал; 18 – кольцевая полость; 19 – кольцевой поршень; 20 – канал для подвода жидкости; 21 – заготовка.

Рисунок 2 – Схема устройства газовой штамповки со ступенчатой камерой сгорания (патент РФ на полезную модель №172758)

Одновременно с этим происходит интенсивный нагрев заготовки 21 под воздействием продуктов сгорания. При нагревании заготовки 21 до заданной температуры открывается выпускной клапан 12, и продукты сгорания выпускаются из полости 2 матрицы 1. При этом под действием давления продуктов сгорания, находящихся в полости 7, заготовка 21 деформируется и заполняет внутреннюю полость матрицы 1.

Данная схема позволяет увеличить в 2...3 раза давление на поверхности штампуемой заготовки, что дает возможность штамповать детали значительно большей толщины.

На рисунке 3 представлена схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Устройство содержит корпус 1 и матрицу 2 с внутренней полостью 3, соединенные между собой при помощи болтов 4 и гаек 5. В корпусе 1 размещены камера сгорания 6 и рабочий цилиндр 7 с поршнем 8, снабженным уплотнением 9. В нижней части корпуса 1 расположена дополнительная камера сгорания 10. Камера сгорания 6 снабжена впускным клапаном 11, свечей зажигания 12, выпускным клапаном 13. Дополнительная камера сгорания 10 также снабжена впускным клапаном 14, свечи зажигания 15 и выпускным клапаном 16. На матрице 2 установлены впускной клапан 17, свеча зажигания 18 и выпускной клапан 19.



- 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – внутренняя полость; 4 – болты; 5 – гайки;
 6 – камера сгорания; 7 – рабочий цилиндр; 8 – поршень; 9 – уплотнение;
 10 – дополнительная камера сгорания; 11, 14, 17 – впускные клапаны;
 12, 15, 18 – свечи зажигания; 13, 16, 19 – выпускные клапаны; 20 – кольцевая
 полость; 21 – кольцевой поршень; 22 – опора; 23 – заготовка.

Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления (патент РФ на полезную модель №178276)

В матрице 2 выполнена кольцевая полость 20, в которую установлен кольцевой поршень 21, служащий для прижима заготовки 23. Работа устройства осуществляется в следующей последовательности. Через впускные клапаны 11, 14, 17 производится подача горючего газа и сжатого воздуха в полость 3 матрицы 2, камера сгорания 6 и дополнительную камеру сгорания 10. При этом в полости 3, камерах сгорания 6, 10 и рабочем цилиндре 7 образуются топливные смеси. В камерах сгорания 6, 10 и рабочем цилиндре 7 устанавливается одинаковое давление топливной смеси, в полости 3 ее давление устанавливается в 2...3 раза ниже. Затем при помощи свеч 12 и 18 осуществляется зажигание топливных смесей в полости 3 и камере сгорания 6. В результате сгорания топливных смесей давление в полости 3, камере сгорания 6 и рабочем цилиндре 7 многократно повышается. При этом давление в камере сгорания 6 в 2...3 раза превышает давление в полости 3. Под действием разности давлений заготовки 23 деформируется. При этом происходит интенсивное пластическое течение металла с фланцевой части заготовки в полость 3 матрицы 2. В процессе вытяжки заготовки 23 усилие деформирования увеличивается, повышается также давление газа в полости 3 матрицы 2 вследствие его сжатия. Поэтому на определенной глубине матрицы 2 вытяжка заготовки прекращается. В этом положении заготовка 23 находится в течение 0,5...1 с, при этом под действием продуктов сгорания заготовки интенсивно нагреваются. В процессе их нагрева температура продуктов сгорания снижается, соответственно уменьшается и давление в полости 3 и в камере сгорания 6.

Затем при помощи свечи 15 осуществляется зажигание топливной смеси в дополнительной камере сгорания 10. В результате сгорания топливной смеси давление в этой камере многократно повышается. Под действием давления продуктов сгорания поршень 8 перемещается, вытесняя газ из рабочего цилиндра 7 в камеру сгорания 6. При этом происходит интенсивный рост давления и температуры газа в камере сгорания 6. Это обеспечивает дальнейшую деформацию заготовки 23 и ее нагрев до достижения заданной температуры. Затем открывается выпускной клапан 19, и газ из полости 3 матрицы 2 выпускается. Давление в полости матрицы 2 падает. При этом под действием давления газа, находящегося в камере сгорания 6, заготовки 23 деформируется и заполняет всю полость матрицы 2.

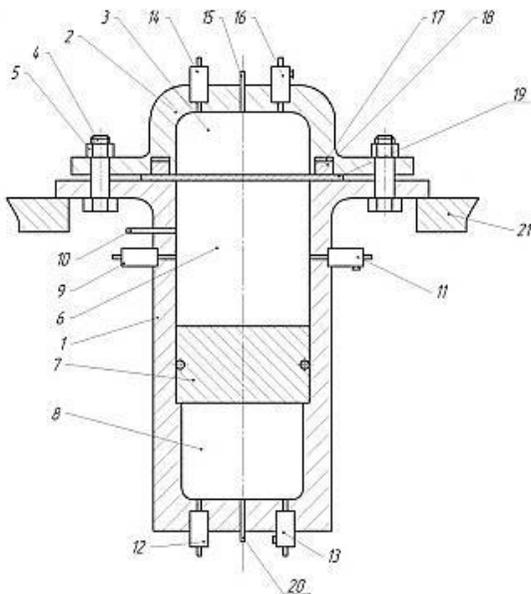
Данное устройство позволяет также штамповать двухслойные изделия. При штамповке двухслойного (биметаллического) изделия на поверхность кольцевого поршня 21 устанавливается две листовые заготовки. При этом работа устройства осуществляется аналогично вышеописанному.

В данном устройстве на поверхности обрабатываемой заготовки обеспечивается высокое давление, и высокая температура газа в течение достаточно длительного времени. Причём, максимальное давление газа достигается в конечной стадии процесса штамповки, то есть когда усилие деформации достигает максимальной величины. Благодаря этому устройство по данной схеме по сравнению с известными устройствами обеспечивает штамповку деталей значительно большей толщины, а также получение двухслойных

(биметаллических) изделий из двух листовых заготовок, что существенно расширяет его технологические возможности. Учитывая это, данная конструктивная схема признана наиболее перспективной. Поэтому разработка конструкции устройства газовой штамповки и исследование его рабочего процесса проведены на основе этой схемы.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Схема устройства представлена на рисунке 4. По принципу работы она идентична схеме, представленной на рисунке 3, но устройство по этой схеме более технологично в изготовлении, поэтому в дальнейшем будем рассматривать данную схему. В данной схеме процесс штамповки осуществляется в два этапа. На первом этапе деформирование и нагрев штампуемой заготовки производится за счёт энергии, выделяющейся при сгорании топливных смесей в рабочем цилиндре и матрице, а на втором этапе – за счет энергии, выделяющейся при сгорании топливной смеси в дополнительной камере сгорания.

На первом этапе процесса штамповки в рабочем цилиндре и матрице происходят следующие термодинамические процессы: горение топливной смеси и охлаждение продуктов сгорания в процессе нагрева заготовки.



- 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – внутренняя полость; 4 – болты; 5 – гайки;
 6 – рабочий цилиндр; 7 – поршень; 8 – камера сгорания; 9, 12, 14 – впускные
 клапаны; 10, 15, 20 – свечи зажигания; 11, 13, 16 – выпускные клапаны;
 17 – кольцевая полость; 18 – кольцевой поршень; 19 – заготовка; 21 – опора .

Рисунок 4 – Схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления

Закономерность изменения давления в рабочем цилиндре в период горения топливной смеси, можно описать следующей зависимостью:

$$P = P_c [1 + (\lambda - 1)(1 - e^{-6,906(\tau\tau_z^{-1})^{m+1}})] \quad (1)$$

где P_c – давление топливной смеси; τ – текущее значение времени; τ_z – время полного сгорания топливной смеси; m – показатель характера сгорания; λ – степень повышения давления при сгорании топливной смеси в постоянном объеме.

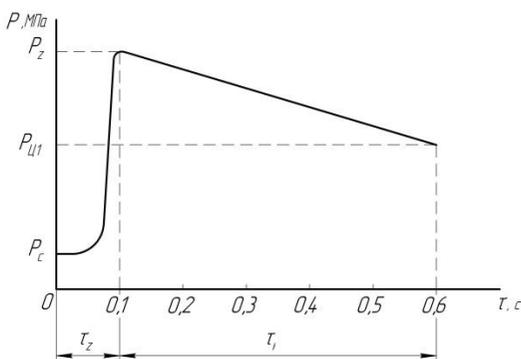
Закономерность изменения давления в рабочем цилиндре в период нагрева заготовки можно описать следующей зависимостью:

$$P = P_z (1 - \zeta \frac{\tau}{\tau_z}) \quad (2)$$

где ζ – коэффициент, зависящий от соотношения объема рабочего цилиндра к площади его поверхности. Величина ζ находится в пределах 0,05...0,1. P_z – начальное давление продуктов сгорания.

На рисунке 5 представлен график изменения давления в рабочем цилиндре, построенный по зависимостям (1) и (2). В процессе горения топливной смеси длительностью τ_z давление увеличивается от давления топливной смеси P_c до P_z . В дальнейшем в процессе нагрева заготовки длительностью τ_n давление монотонно снижается до $P_{ц1}$.

Деформирование заготовки начинается в процессе горения топливных смесей в рабочем цилиндре и матрице. Давление в рабочем цилиндре в 1,5...2 раза выше давления в матрице, поэтому заготовка деформируется в направлении матрицы. В полости матрицы заготовка деформируется в форме, близкой к шаровому сегменту. К концу первого этапа процесса штамповки высота образовавшегося шарового сегмента достигает 0,5...0,7 h_m , где h_m – глубина центральной части матрицы. Это обеспечивается соответствующим подбором давления топливной смеси в рабочем цилиндре и матрице.



τ_z – длительность процесс сгорания;

τ_n – длительность нагрева заготовки.

Рисунок 5 – Характер изменения давления в рабочем цилиндре на первом этапе процесса штамповки.

Исходя из анализа схемы нагружения заготовки, получена следующая зависимость для определения необходимой величины давления топливной смеси, обеспечивающей осуществление процесса штамповки – P_c

$$P_c = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{V_c}{V_{\text{ц}}}\right) k \frac{2,4\sigma_s h_m \delta}{(1-\alpha)(R_M^2 + 0,36h_m^2)} \quad (3)$$

где δ – толщина заготовки; σ_s – предел текучести материала заготовки; R_M – радиус матрицы; α – отношение давления продуктов сгорания в матрице P_M к давлению продуктов сгорания в цилиндре $P_{\text{ц}}$; V_c – объем шарового сегмента; $V_{\text{ц}}$ – объем рабочего цилиндра; k – показатель адиабаты.

Объем шарового сегмента V_c , входящий в зависимость (3) определяется следующей зависимостью.

$$V_c = 0,1\pi h_m (3R_M^2 + 0,36h_m^2) \quad (4)$$

Зависимость (3) в совокупности с зависимостью (4) определяет необходимую величину давления топливной смеси, обеспечивающей осуществление первого этапа процесса штамповки.

В течение первого этапа процесса штамповки происходит интенсивный нагрев заготовки. Используя уравнение конвективного теплообмена и теплового баланса, получена следующая зависимость для определения температуры нагрева заготовки на первом этапе:

$$t_3 = \frac{1}{\xi+1} \left[t_z \left(1 - e^{-\frac{2\alpha(\xi+1)}{\rho_3 c_3 \delta} \tau}\right) + t_{3_0} \left(\xi + e^{-\frac{2\alpha(\xi+1)}{\rho_3 c_3 \delta} \tau}\right) \right] \quad (5)$$

$$t_{3_0} = t_0 + \frac{f_3 \varphi H'_c P_c}{\rho_3 F_3 \delta c_3 P_a} (V_{\text{ц}} + \beta_c V_M) \quad (6)$$

где β_c – соотношение давлений топливных смесей; c_3 – удельная теплоемкость материала заготовки; F_3 – площадь тепловоспринимающей поверхности заготовки; ρ_3 – плотность материала заготовки; V_M – объем матрицы; H'_c – низшая теплотворная способность 1 нм^3 топливной смеси, определенной при нормальных условиях; φ – коэффициент потери теплоты; t_0 – начальная температура заготовки, т.е. при установке заготовки на матрицу; P_a – атмосферное давление; P_c – давление топливной смеси; f_3 – относительная площадь тепловоспринимающей поверхности заготовки; δ – толщина заготовки, ξ – относительная теплоемкость заготовки, представляющая собой отношение теплоемкости заготовки к теплоемкости газа с учетом доли энергии газа, идущей только на нагрев заготовки; α – коэффициент теплоотдачи; τ – время; t_z – температура продуктов сгорания; t_{3_0} – температура заготовки в конце процесса сгорания топливной смеси; P_a – атмосферное давление.

На рисунке 6 представлены графики зависимости температуры нагрева заготовки во времени и при разных давлениях топливной смеси, построенные по зависимости (5).

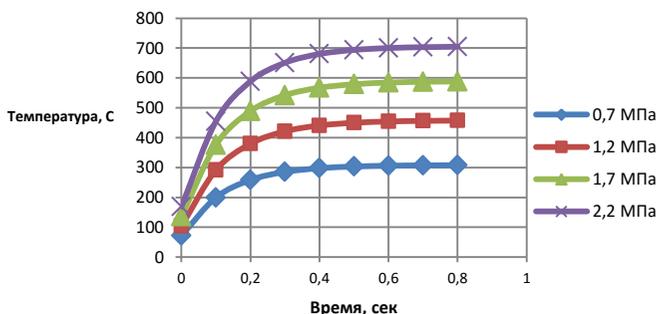


Рисунок 6 – Графики зависимости температуры нагрева стальной заготовки толщиной 1,0 мм от времени при различных давлениях топливной смеси на первом этапе процесса штамповки

На втором этапе процесса штамповки закономерности изменения давления в рабочем цилиндре существенно зависят от способа зажигания топливной смеси в камере сгорания. При искровом зажигании топливной смеси процесс горения совершается с умеренной скоростью, поэтому перепад давления между камерой сгорания и рабочим цилиндром имеет сравнительно небольшую величину. Соответственно и скорость поршня, движущегося под действием этого перепада давлений, невелика, и остановка поршня происходит практически при уравнивании давлений в рабочем цилиндре и камере сгорания. Исходя из этих предпосылок, получена зависимость для определения максимального давления газа в рабочем цилиндре и степени мультипликации давления, обусловленной движением поршня.

$$P_{ц\ max} = \frac{P_{ц1}}{(1-x_k)^k} \quad (7)$$

$$P_{ц} = \left(\frac{1+\vartheta_k \Pi^{\frac{1}{k}}}{1+\vartheta_k} \right)^k \quad (8)$$

$$\vartheta_k = \frac{V_k}{V_{ц}} \quad (9)$$

где $P_{ц1}$ – давление в рабочем цилиндре перед началом движения поршня; x_k – максимальное относительное перемещение поршня; ϑ_k – относительный объем камеры сгорания; Π – отношение давления продуктов сгорания в камере сгорания к давлению продуктов сгорания в рабочем цилиндре перед началом движения поршня; k – показатель адиабаты; V_k – объем камеры сгорания; $V_{ц}$ – объем рабочего цилиндра.

Из зависимости (8) следует, что степень мультипликации давления существенно зависит от начального соотношения давлений Π и относительного объема камеры сгорания. На рисунке 7 представлены графики зависимости степени мультипликации давления от относительного объема камеры сгорания.

Из графиков следует, что при увеличении ϑ_k от 0 до 1 степень мультипликации давления $P_{ц}$ интенсивно увеличивается. При дальнейшем увеличении ϑ_k интенсивность роста $P_{ц}$ существенно снижается. Учитывая это и рост габаритных размеров устройства газовой штамповки при увеличении относительного объема камеры сгорания, можно считать оптимальным значения ϑ_k в пределах от 1 до 2. При $\vartheta_k=1$ степень мультипликации давления при значении $P=2,0\dots2,5$ составляет $1,4\dots1,7$. Следовательно, в результате сжатия поршнем продуктов сгорания давление в рабочем цилиндре увеличивается в $1,4\dots1,7$ раза.

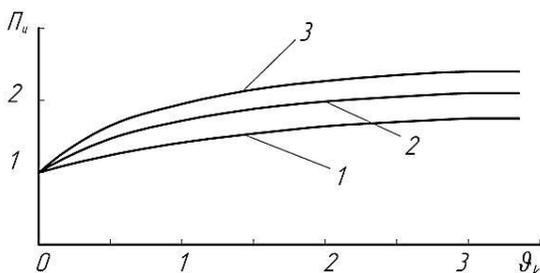


Рисунок 7 – Зависимость степени мультипликации давления в рабочем цилиндре от ϑ_k при искровом зажигании топливной смеси в камере сгорания при различных значениях P : 1 - $P=2$; 2 - $P=2,5$; 3 - $P=3$

Сжатие продуктов сгорания в рабочем цилиндре вызывает повышение их температуры. Считая процесс сжатия адиабатическим, получена следующая зависимость для определения степени повышения температуры.

$$\bar{T}_{ц} = \frac{T_{ц\ max}}{T_{ц1}} = \left(\frac{P_{ц\ max}}{P_{ц1}}\right)^{\frac{k-1}{k}} = P_{ц}^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{1+\vartheta_k P^{\frac{1}{k}}}{1+\vartheta_k}\right)^{(k-1)} \quad (10)$$

где $T_{ц1}$, $T_{ц\ max}$ – абсолютные температуры продуктов сгорания перед началом и в конце движения поршня.

На рисунке 8 представлены графики зависимости степени повышения температуры продуктов сгорания в рабочем цилиндре от относительного объема камеры сгорания ϑ_k для стальной заготовки толщиной 1 мм. Из графиков видно, что в оптимальном диапазоне значений ϑ_k степень повышения температуры газа составляет $1,1\dots1,2$.

При форкамерно-факельном зажигании топливной смеси в камере сгорания процесс горения происходит с высокой скоростью, что вызывает значительный перепад давлений между камерой сгорания и рабочим цилиндром. Двигаясь под действием этого перепада давлений, поршень приобретает значительную кинетическую энергию. Поэтому остановка поршня происходит при равенстве работы расширения газа в камере сгорания работе сжатия газа в рабочем цилиндре. Исходя из этих предпосылок, получены зависимости для определения максимального давления газа в рабочем цилиндре, степени мультипликации давления и степени повышения температуры при форкамерно-факельном зажигании топливной смеси в камере сгорания.

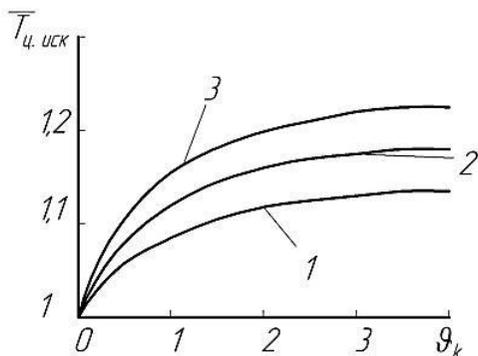


Рисунок 8 – Зависимость степени повышения температуры в рабочем цилиндре от ϑ_k при искровом зажигании топливной смеси в камере сгорания при различных значениях Π :

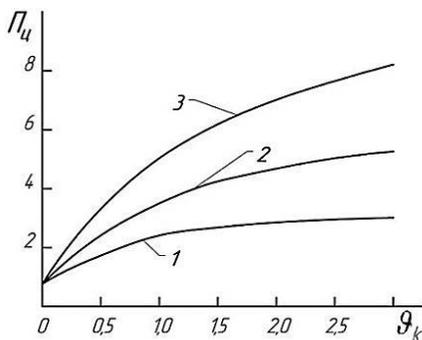
1 - $\Pi = 2$; 2 - $\Pi = 2,5$; 3 - $\Pi = 3$

$$P_{ц\ max} = \frac{P_{ц1}}{(1-x_k)^k} \quad (11)$$

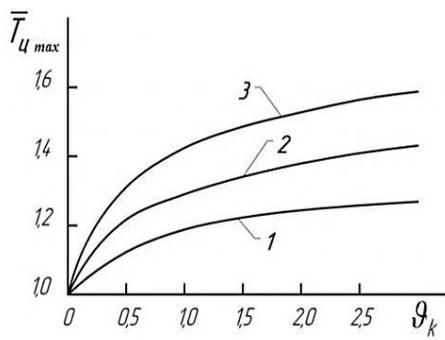
$$\Pi_{ц} = \frac{P_{ц\ max}}{P_{ц1}} = \frac{1}{(1-x_k)^k} \quad (12)$$

$$\bar{T}_{ц\ max} = \frac{T_{ц\ max}}{T_{ц1}} = \left(\frac{1}{(1-x_k)} \right)^{k-1} \quad (13)$$

На рисунке 9 представлены графики зависимостей $\Pi_{ц}$ и $\bar{T}_{ц\ max}$ от относительного объема камеры сгорания. Из этих графиков видно, что в оптимальном диапазоне значений ϑ_k степень мультипликации давления составляет 4...6, а степень повышения температуры составляет 1,3...1,5.



а)



б)

Рисунок 9 – Графики степени мультипликации давления (а) и температуры (б) в рабочем цилиндре от ϑ_k при форкамерно-факельном зажигании топливной смеси в камере сгорания при различных значениях Π : 1 - $\Pi = 2$; 2 - $\Pi = 2,5$;

3 - $\Pi = 3$

Следовательно, при форкамерно-факельном зажигании топливной смеси в камере сгорания давление газа в рабочем цилиндре увеличивается в 4...6 раз, а абсолютная температура в 1,3...1,5 раз. Это обеспечивает в конечной стадии процесса штамповки высокий уровень усилия деформирования, а также интенсивный нагрев заготовки.

На рисунке 10 представлены графики изменения температуры заготовки в течение первого и второго этапов. Как видно из графиков на втором этапе интенсивность роста температуры существенно повышается из-за увеличения температуры газа в рабочем цилиндре.

Обобщая результаты теоретических исследований рабочего процесса можно заключить следующее. На первом этапе процесса штамповки при сгорании топливной смеси в рабочем цилиндре давление увеличивается в 7...8 раз, в дальнейшем в процессе нагрева заготовки давление монотонно снижается, закон его снижения можно считать линейным. Температура нагрева заготовки существенно зависит от времени нагрева, давления топливной смеси и геометрических и теплофизических параметров заготовки.

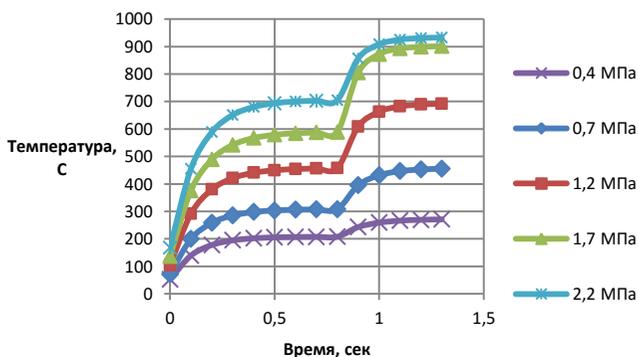
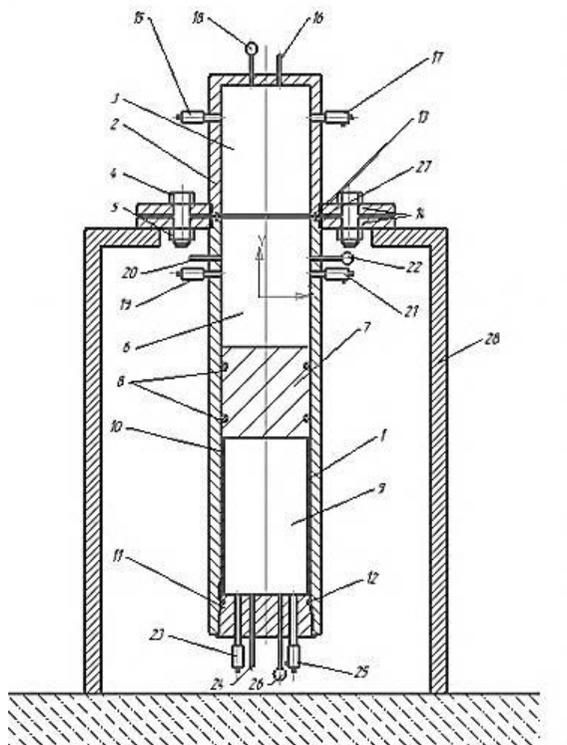


Рисунок 10 – Изменение температуры стальной заготовки в течение первого и второго этапа процесса штамповки при разных давлениях топливной смеси (диаметр 160 мм, толщиной 1 мм)

Получена зависимость для расчета температуры нагрева заготовки. Оптимальная длительность процесса заготовки составляет 0,5...0,8 с. На втором этапе процесса штамповки благодаря сжатию продуктов сгорания при перемещении поршня происходит существенное повышение давления в рабочем цилиндре. При искровом зажигании топливной смеси в камере сгорания давление в рабочем цилиндре в конечной стадии процесса штамповки увеличивается в 1,4...1,7 раза в зависимости от величины ϑ_k , а температура продуктов сгорания увеличивается в 1,1...1,2 раза. При форкамерно-факельном зажигании давление в рабочем цилиндре увеличивается в 4...6 раз, а температура продуктов сгорания увеличивается в 1,3...1,5 раз, что дает возможность в 2...3 раза увеличить толщину штампуемых деталей.

Четвертая глава посвящена разработке и созданию экспериментального устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Схема экспериментального устройства представлена на рисунке 11, а его фотография – на рисунке 12. Рабочий цилиндр и камера сгорания размещены в едином корпусе. Сочленение корпуса с матрицей выполнено при помощи фланцевого соединения. Благодаря этому корпус и матрица при нагреве могут беспрепятственно удлиняться, что предотвращает появление дополнительных термических напряжений.

Толщина стенок матрицы, рабочего цилиндра и камеры сгорания принята одинаковой, равной 20 мм. Она установлена из результатов прочностного расчета.



- 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – полость матрицы; 4 – болт; 5 – гайка;
- 6 – рабочий цилиндр; 7 – поршень; 8 – поршневые кольца;
- 9 – камера сгорания; 10 – гильза; 11 – крышка камеры сгорания;
- 12, 13 – уплотнительные кольца; 14 – фланец; 15, 19, 23 – впускные клапаны; 16, 20, 24 – свечи зажигания; 17, 21, 25 – выпускные клапаны;
- 18, 22, 26 – клапаны для измерения давлений; 27 – заготовка;
- 28 – подставка.

Рисунок 11 – Схема экспериментального устройства

При этом максимальное давление топливной смеси составляет 0,7 МПа. При таком давлении топливной смеси давление продуктов сгорания составляет 6...7 МПа. Поэтому расчет на прочность проведен при давлении 7 МПа. Определены значения деформаций и напряжений, возникающих в корпусе рабочего цилиндра и камеры сгорания, при давлении 7 МПа, рассчитанные по программе SolidWorks 2013. Система топливоподачи установки снабжена электропневматическими клапанами для подачи компонентов топливной смеси в матрицу, рабочий цилиндр и камеру сгорания. Она содержит так же обратные клапана для предотвращения обратного движения топливной смеси. Подача горючего газа производится из баллона с пропан-бутановой смесью. Нагнетание сжатого воздуха производится компрессором снабженным ресивером. Максимальное нагнетаемое давление воздуха 0,9 МПа. Система зажигания, снабжена трансформатором для подачи на свечу зажигания тока. Программирование работы установки осуществляется с помощью разработанной операционной системы на языке программирования Assembler, работающей на управляющей плате, состоящей из микроконтроллера Atmega16a, электрических реле, транзисторов, светодиодов, резисторов и оптопар.



Рисунок 12 – Фотография разработанного экспериментального устройства для листовой штамповки с поршневым мультипликатором давления

Краткая техническая характеристика экспериментального устройства:

Максимальный диаметр обрабатываемых заготовок, мм..... 250

Максимальная толщина обрабатываемых заготовок, мм..... 2

Габаритные размеры устройства:

Высота, мм.....1250

Поперечные размеры ,мм.....300x600
Диаметр камеры сгорания, мм.....160
Диаметр полости матрицы, мм.....160
Энергоноситель — смесь горючего газа со сжатым воздухом.
Максимальное давление энергоносителя, МПа 0,9

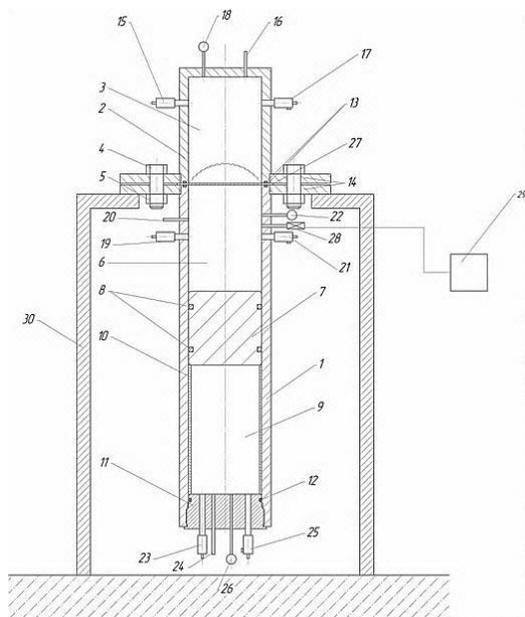
На основе конструктивной схемы созданного экспериментального устройства и результатов проведенных исследований разработана методика проектирования устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Она предусматривает разработку трех типоразмеров устройства для обеспечения штамповки деталей диаметром от 100 мм до 800 мм. Исходными основными данными при проектировании устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления являются:

- максимальный диаметр штампуемых деталей d_{\max} ;
- максимальная толщина штампуемых деталей δ_{\max} .

Исходя из этих данных определяются основные размеры устройства: диаметр, высота и объем рабочего цилиндра $d_{\text{ц}}$, $h_{\text{ц}}$ и $V_{\text{ц}}$ соответственно. Определяются диаметр, высота и объем камеры сгорания $d_{\text{к}}$, $h_{\text{к}}$ и $V_{\text{к}}$ соответственно, также высчитываются диаметр матрицы и высота матрицедержателя $d_{\text{м}}$ и $h_{\text{м}}$. Затем определяются общая высота устройства $h_{\text{у}}$ и максимальный поперечный размер L . Для расчета этих размеров даны соответствующие зависимости.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, а так же отработке технологических режимов процесса штамповки. Эксперименты проводились на созданном устройстве, представленном на рисунке 13. В ходе экспериментов варьировались, давление топливной смеси, длительность процесса нагрева заготовки. Давление топливной смеси измерялось при помощи образцового манометра класса точности 0,4. В процессе экспериментов производили осциллографирование изменения давления в рабочем цилиндре с помощью аналогового двухканального осциллографа модели ATTEN ADS1062C и датчика избыточного давления «Курант ДИ» 0...16 МПа, с классом точности 0,25%, выходным сигналом 4÷20 мА, с открытой мембраной, диапазоном. частот 0...3000 Гц.

Для проведения экспериментов используется цилиндрическая матрица диаметром 160 мм, глубиной 160 мм. Штамповке подвергались круглые заготовки диаметром 200 мм из листовой стали толщиной 1 мм. Деформацию оценивали по глубине вытяжки заготовки. Для проведения экспериментальных исследований был использован лист стальной



- 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – полость матрицы; 4 – болт; 5 – гайка;
 6 – рабочий цилиндр; 7 – поршень; 8 – поршневые кольца;
 9 – камера сгорания; 10 – гильза; 11 – крышка камеры сгорания;
 12, 13 – уплотнительные кольца; 14 – фланец;
 15, 19, 23 – впускные клапаны; 16, 20, 24 – свечи зажигания;
 17, 21, 25 – выпускные клапаны; 18, 22, 26 – клапаны для измерения давлений;
 27 – заготовка; 28 – датчик избыточного давления;
 29 – осциллограф; 30 – подставка.

Рисунок 13 – Схема устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления

Было проведено несколько серий экспериментов. Первая и вторая серии экспериментов, была посвящена исследованию закономерности изменения давления в рабочем цилиндре в течение первого этапа процесса штамповки. При этом топливной смесью наполняли только рабочий цилиндр и матрицу и осуществляли одновременные их зажигания. Давление топливной смеси в рабочем цилиндре составляло 0,6 МПа и 0,7 МПа, а в матрице – 2 раза меньше.

На рисунке 14 представлена осциллограмма изменения давления в рабочем цилиндре при давлении топливной смеси 0,6 МПа где C_{urA} – напряжение до подачи топливной смеси в рабочий цилиндр, В; C_{urB} – максимальное напряжение при горении топливной смеси, В; ΔU – разность между C_{urA} и C_{urB} , В.

При сгорании топливной смеси давление в рабочем цилиндре резко увеличивается до максимального значения P_z . Исходя из данных осциллограммы,

максимальное давление продуктов сгорания в рабочем цилиндре при давлении топливной смеси $P_c = 0,6$ МПа составляет по вольт-амперной характеристике $\Delta U = 2,64$ В, что соответствует $P_z \approx 3,9$ МПа. При давлении топливной смеси максимальное давление продуктов сгорания в камере сгорания при давлении топливной смеси $P_c = 0,7$ МПа составляет по вольт-амперной характеристике $\Delta U = 2,92$ В, что соответствует $P_z \approx 4,3$ МПа.

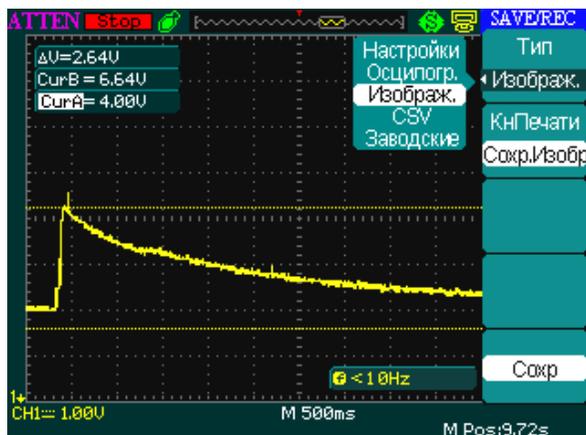


Рисунок 14 – Осциллограмма изменения давления в рабочем цилиндре на первом этапе процесса штамповки при давлении топливной смеси $P_c = 0,6$ МПа

Третья серия экспериментов была посвящена исследованию закономерности изменения давления в рабочем цилиндре на втором этапе процесса штамповки при искровом зажигании топливной смеси в камере сгорания. В этой серии экспериментов камеру сгорания и рабочий цилиндр наполняли топливной смесью давлением 0,6 МПа и 0,7 МПа, а в матрице – 2 раза меньше. После зажигания топливной смеси в рабочем цилиндре и матрице через 0,5...1,5 с производили зажигание топливной смеси в камере сгорания, а затем через 0,5..1 с выпуск из полости матрицы продуктов сгорания. На рисунке 15 представлена осциллограмма, полученная при давлении топливной смеси 0,6 МПа. На этом рисунке осциллограмма имеет по два пика, т.е. два максимума. Первый из них соответствует концу процесса сгорания в рабочем цилиндре. Второй пик соответствует концу процесса сжатия продуктов сгорания, обусловленного движением поршня под действием давления в камере сгорания. Полученная осциллограмма показала, что за счет сжатия продуктов сгорания давление в рабочем цилиндре увеличивается в 1,2...1,5 раза при давлениях топливных смесей 0,6 МПа. Аналогичное увеличение давления в 1,2...1,5 раза составляет при давлении топливной смеси 0,7 МПа.



Рисунок 15 – Осциллограмма изменения давления в рабочем цилиндре при штамповке с поршневым мультипликатором давления при давлении топливной смеси $P_c = 0,6 \text{ МПа}$

Сопоставление теоретических и экспериментальных графиков изменения давления в рабочем цилиндре при давлении топливной смеси 0,6 МПа представлен на рисунке 16. Расхождение теоретических и экспериментальных значений максимального давления продуктов сгорания определялось по следующей зависимости:

$$\Delta P_z = \frac{P_{z \text{ теор.}} - P_{z \text{ эксп.}}}{P_{z \text{ теор.}}} 100\% \quad (14)$$

где $P_{z \text{ т}}$ – теоретическое значение давления продуктов сгорания при сгорании в постоянном объеме; $P_{z \text{ э}}$ – экспериментальное значение давления продуктов сгорания при сгорании в постоянном объеме.

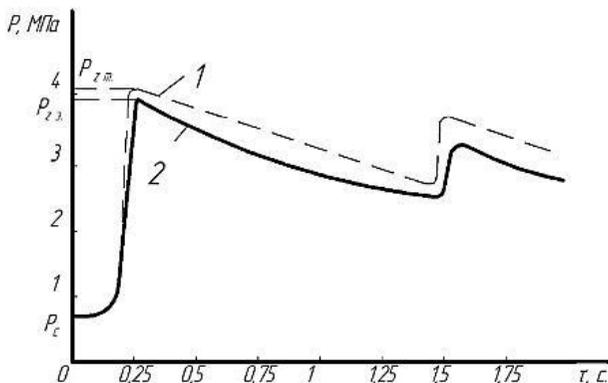


Рисунок 16 – Сравнение теоретических и экспериментальных результатов при давлении топливной смеси 0,6 МПа.

Расчет по этой зависимости показал, что расхождение теоретических и экспериментальных значений давления продуктов сгорания составляет около $\Delta P_z \approx 10\%$. Аналогичное сопоставление теоретических и экспериментальных графиков изменения давления в рабочем цилиндре при давлении топливной смеси 0,7 МПа показало, что $\Delta P_z \approx 12\%$.

Следующая серия экспериментов была посвящена обработке технологических режимов процесса штамповки. Штамповке подвергали листовые заготовки толщиной 1 мм из стали 3, используя цилиндрическую матрицу диаметром 160 мм. При этом получали сферообразные днища различной глубины. Выбор такой формы штампуемых изделий обусловлен тем, что такая форма изделия наиболее приемлема для оценки достоверности полученных при теоретическом анализе зависимостей для определения потребной величины давления топливной смеси. Кроме того, на такие изделия имеется спрос со стороны малых предприятий, производящих металлические изделия. В ходе экспериментов варьировали давление топливной смеси, время нагрева заготовки, определяемое промежутком времени между зажиганием топливной смеси в рабочем цилиндре и камере сгорания, а также время начала выпуска продуктов сгорания из матрицы. Зажигание топливной смеси в камере сгорания производили при помощи свечи, т.е. применяли искровое зажигание.

На рисунке 17 (а), представлено сферообразное днище, полученное при давлении топливной смеси в рабочем цилиндре равном 0,7 МПа, а в матрице – 0,35 МПа. Зажигание топливной смеси в камере сгорания производили через 0,8 с после подачи искры в рабочий цилиндр и матрицу, после чего через 0,4 с осуществляли выпуск продуктов сгорания из матрицы, а затем через 1 с производили выпуск продуктов сгорания из рабочего цилиндра и камеры сгорания. При этих параметрах процесса средняя величина глубины отштампованных днищ составил 45 мм. Технологические режимы, использованные при штамповке днища, представленного на рисунке 17 (а), были признанными наиболее рациональными. Поэтому на этих режимах была отштампована опытная партия днищ (рисунок 17,б).



а)



б)

а) – вид с боку; б) опытная партия.

Рисунок 17 – Сферообразное днище глубиной 45 мм

На основании результатов экспериментальных исследований разработана технология штамповки на устройстве газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Она включает в себя операции, связанные с подготовкой штампуемых заготовок; определение технологических режимов процесса штамповки; установку заготовки в рабочую зону устройства газовой штамповки; проведение процесса штамповки и извлечение полученного изделия из рабочей зоны устройства.

Определяется размер исходной плоской заготовки для штамповки детали, используя известную методику расчёта. В частности, в случае штамповки сферообразного днища с фланцем диаметр исходной заготовки определяется по следующей зависимости

$$D_3 = \sqrt{d_{\phi}^2 - d_c^2 + 4\left(\frac{d_c^2}{4} + h_c^2\right)} \quad (15)$$

где d_{ϕ} – диаметр фланца днища; d_c – диаметр сферической части; h_c – глубина днища.

После определения диаметра заготовки осуществляется вырезка из листа заготовки нужного диаметра. При изготовлении небольшого количества деталей вырезка заготовок производится вручную при помощи ножниц. В случае производства партии деталей в количестве около 100 и более единиц резка заготовок может производиться на устройстве газовой штамповки, используя вырубной штамп.

Технологические режимы штамповки включают в себя давление прижима фланцев заготовки, давление топливной смеси, время нагрева заготовки на 1 и 2 этапах процесса штамповки, длительность заключительной стадии процесса штамповки. Правильное назначение перечисленных параметров обеспечивает управление процессами нагрева и деформирования обрабатываемой заготовки, что гарантирует получение штампованного изделия требуемого качества.

Время нагрева заготовки на первом этапе определяется промежутком времени между подачей искры в рабочий цилиндр и камеру сгорания, а время нагрева и на втором этапе — промежутком времени между подачи искры в камеру сгорания и начала выпуска газа из матрицы. Оптимальная величина времени выпуска в зависимости от толщины заготовки составляет 0,5...0,8 с для первого этапа и 0,3...0,4 с для второго этапа процесса штамповки.

Длительность заключительной стадии процесса штамповки определяется промежутком времени между началом выпуска газа из матрицы и началом выпуска газа из рабочего цилиндра. В этот период завершается окончательная формовка нагретой заготовки. Оптимальная величина этого времени составляет 0,3...0,5 с.

Давление прижима заготовки должно быть таким, чтобы предотвратить образование гофров на заготовке в процессе ее деформации. Наряду с этим давление прижима не должно препятствовать течению металла с фланцевой части заготовки в полость матрицы. Важнейшим фактором для осуществления газовой штамповки является давление топливной смеси. Необходимая величина давления

топливной смеси существенно зависит от геометрических размеров штампуемой детали и механических характеристик материала детали, а также теплотворной способности топливной смеси. В случае штамповки сферобразных днищ зависимость давления топливной смеси от указанных параметров выражается следующей функцией:

$$P_c = f(R, h, \delta, \sigma_s, \lambda) \quad (16)$$

где R, h – радиус и глубина днища.

Для осуществления установки заготовки в рабочую зону устройства и извлечения из неё готового изделия матрица отсоединяется от корпуса, открутив для этого гайки болтов, соединяющих их между собой. Штампованное изделие при остывании легко извлекается из матрицы, поэтому не требуется выталкиватель. Для уменьшения трения между заготовкой и кольцевым поршнем и матрицей торцевые поверхности кольцевого поршня и матрицы смазываются графитовой смазкой. После этого на торец кольцевого поршня устанавливается листовая заготовка и на неё устанавливается матрица. Затем матрица присоединяется к корпусу болтами.

Операции, связанные с установкой заготовки на поверхность кольцевого поршня и снятием отштампованного изделия с матрицы наиболее длительны и занимают 4...6 минут. Для их ускорения могут быть использованы специальные гайковерты.

В результате проведенных экспериментальных исследований определены основные закономерности рабочего процесса, протекающего в рабочем цилиндре устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. Установлено, что степень повышения давления при сгорании топливной смеси в рабочем цилиндре составляет 6,2...6,5. Расхождение теоретических и экспериментальных значений максимального давления продуктов сгорания не превышает 12%. После окончания процесса сгорания топливной смеси в период нагрева заготовки давление в рабочем цилиндре монотонно снижается. При этом закон изменения давления может быть без большой погрешности описан линейной зависимостью, принятой при теоретическом анализе. Определена степень мультипликации давления в рабочем цилиндре за счет энергии продуктов сгорания, образующихся в камере сгорания. При искровом зажигании топливной смеси в камере сгорания степень мультипликации составила 1,4...1,5, что всего на 12...15% ниже теоретического значения, а при форкамерно – факельном зажигании она составила около 2,1, что всего на 18% ниже ее теоретического значения.

Требуемое качество полученных изделий позволило внедрить данную технологию в промышленное производство для изготовления штампованных изделий. Результаты работы внедрены также в учебный процесс подготовки бакалавров по направлениям подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Шестая глава посвящена применению устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления для штамповки биметаллических изделий.

Для производства биметаллических изделий широкое распространение получили диффузионная сварка, ультразвуковая, и контактная сварка, сварка взрывом, магнитно-импульсная сварка. Для производства полых биметаллических изделий чаще всего используют диффузионную сварку либо электрическую контактную сварку. Проведенный анализ показал, что большинство существующих методов производства биметаллических изделий имеют малую производительность и высокую стоимость. В частности при диффузионной сварке процессы нагрева соединяемых деталей и их сварка осуществляется в вакууме. Что существенно повышает стоимость оборудования. При этом процесс сварки длится от десятков минут до нескольких часов. Это в целом обуславливает высокую стоимость производимых биметаллических изделий. Для обеспечения широкого использования биметаллических изделий необходимо значительно снизить себестоимость их производства. Одним из путей решения этой задачи может быть использование газовой штамповки.

Для этого был разработан новый способ изготовления двухслойных изделий (Пат. на изобр. №2643293). Сущность этого способа заключается в том, что две уложенные друг на друга листовые заготовки нагревают в камере и осуществляют их диффузионную сварку за счёт приложения давления газа на внешние поверхности с обеих сторон заготовок, причём в качестве упомянутого газа используют продукты сгорания топливной смеси, которую подают под давлением в камеру с заготовками и зажигают, при этом в состав топливной смеси выбирают из условия получения температуры продуктов сгорания выше температуры плавления одной из заготовок. Кроме того, нагрев одной из заготовок может быть осуществлён до температуры выше температуры плавления другой заготовки. Причём, в процессе нагрева заготовок производят совместную их вытяжку за счет получения разности давлений топливной смеси с одной и другой стороны свариваемых заготовок. Таким образом, в данном способе процесс в диффузионной сварки листовых заготовок осуществляется нагревом заготовок, прижатием их друг другу и совместной их вытяжкой под двухсторонним воздействием продуктов сгорания топливной смеси. Длительность процесса составляет всего несколько секунд.

Для уменьшения необходимой величины давления топливной смеси также разработан другой способ (Пат. на изобр. №2643294). Существенным его отличием от предыдущего способа является использование промежуточной прокладки, устанавливаемой между соединенными заготовками и имеющей значительно меньшую температуру плавления, чем температура плавления заготовок. Данный способ позволяет осуществлять диффузионную сварку не только листовых заготовок, но и деталей сложной формы, например панелей отопительных радиаторов.

Оба эти способа получения биметаллических изделий могут быть осуществлены при помощи устройства газовой штамповки. Для практической

апробации этой возможности были проведены экспериментальные исследования на устройстве газовой листовой штамповки с поршневым мультипликатором давления. При проведении экспериментальных исследований были использованы следующие листовые материалы:

Лист оцинкованный ОЦ Б - ПН - НО – 0,5x1000x2000 ГОСТ 19904- 90
0,8ОН – КР – 1 – ГОСТ 14918-90

Сталь листовая – Лист Х/К Б - ПН - О – 0,5x1250x2500 ГОСТ 19904- 90
Ст3 – Ш – Г – ГОСТ 16523-89

лист жестяной покрытый оловом (жесть пищевая) ЭЖК-0,28x836x716-Т6-НО-Е1,4-М ГОСТ Р 52204-2004, лист медный М1-0,5x600x1500 ГОСТ 495-92, фольга ФО – 0,07-130-130 ГОСТ 18394-73, припой оловянно-свинцовый ПОС 61.

Были проведены эксперименты используя жестяную заготовку в паре с оцинкованной, а между ними установили оловянную фольгу. Эксперименты проводились при следующих технологических режимах; давление топливной смеси в рабочем цилиндре и камере сгорания – 0,6 МПа, а давление в полости матрицы – 0,3 МПа. При этом после зажигания топливной смеси в рабочем цилиндре и матрице через 0,6 с производили зажигание топливной смеси в камере сгорания. Время выпуска продуктов сгорания из полости матрицы после подачи искры в камеру сгорания было установлено 1 с, а затем через 0,7 с производили выпуск из рабочего цилиндра и камеры сгорания. Жестяная заготовка была расположена со стороны рабочего цилиндра, а оцинкованная со стороны матрицы. После проведения эксперимента результат показал, что заготовки спаялись по площади контакта оловянной фольги с заготовками (рисунок 18). Аналогичные результаты были получены в экспериментах с заготовкой из меди и с оцинкованной стальной заготовкой, стальной заготовкой и с оцинкованной стальной заготовкой.



Рисунок 18 – Биметаллическое спаянное сферообразное днище (оцинкованная сталь + жесть пищевая).

Проведенные экспериментальные исследования в целом подтвердили возможность получения биметаллических изделий методом газовой штамповки. При этом установлено, что изделия диаметром 160 мм и толщиной до 1 мм могут быть получены при давлении топливной смеси 0,6...0,7 МПа с использованием расплавляющихся промежуточных прокладок. Если не использовать

проплавляемую прокладку, то давление топливной смеси 0,6... 0,7 МПа не обеспечивает соединения. Для обеспечения соединения заготовок по всей поверхности и получения полноценного биметаллического изделия без применения промежуточных прокладок требуется большее давление топливной смеси, обеспечивающее нагрев заготовок до интервала горячей обработки и их сваривание между собой. Исходя из проведенных теоретических исследований можно ожидать, что для штамповки биметаллических полых изделий без использования промежуточных прокладок на данном устройстве давление топливной смеси должно быть не менее 1,7 МПа.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе выполнения диссертационной работы были получены следующие результаты:

- выполнен обзор существующих методов листовой газовой штамповки;
- выполнен анализ путей расширения технологических возможностей газовой штамповки и конструктивных решений для их реализации, в ходе которого были разработаны новые конструктивные схемы устройства газовой штамповки, обеспечивающие расширение технологических возможностей газовой штамповки за счет увеличения давления и температуры газа на поверхности обрабатываемой заготовки;
- выполнена разработка конструктивной схемы устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, осуществляющая штамповку листовых деталей из стали и цветных сплавов с нагревом заготовки до интервала температур теплой или горячей обработки;
- проведены теоретические исследования рабочего процесса газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, что позволило установить основные закономерности этого процесса, которые подтверждены результатами экспериментальных исследований, так же разработана математическая модель рабочего процесса в ходе которой были определены оптимальные соотношения параметров процесса, $\vartheta_k = 1 \dots 2$, $\Pi = 2 \dots 3$, $\tau_n = 0,5 \dots 0,8$ с;
- разработано и создано экспериментальное устройство газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- выполнена разработка технологии производства штамповки сферообразных днищ на устройстве газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления;
- проведены экспериментальные исследования рабочего процесса устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, в ходе которых были определены закономерность изменения давления в рабочем цилиндре устройства и степень мультипликации давления, что подтвердило адекватность разработанной математической модели этого процесса;
- произведена практическая апробация устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления, а так же произведена оценка его технологических возможностей. Определен оптимальный технологический процесс и получена опытная партия сферообразных днищ;

– экспериментально подтверждена возможность использования устройства газовой штамповки с поршневым мультипликатором давления для штамповки биметаллических изделий, защищенные патентами на изобретение.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях рекомендованных ВАК:

1. Боташев, А. Ю. Исследование процесса нагрева заготовки при газовой формовке с противодавлением / А. Ю. Боташев, Н. У. Бисилов, Р. С. Малсугенов, Р. А. Байрамуков. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 2016. -№8. -С. 51-59.
2. Боташев, А.Ю., Разработка и исследование устройства для газовой листовой штамповки с поршневым мультипликатором давления/ А.Ю. Боташев, Р.А. Байрамуков//Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. -2018 Т. 17-№2. –С 132-144

Патенты:

3. Пат. 169410 Российская Федерация, RU 169410 МПК В21D 26/08. Устройство для листовой штамповки взрывом газовых смесей, патент на полезную модель / А. Ю . Боташев, Р. А. Байрамуков, Н. У. Бисилов, Р. С. Малсугенов, . Оpubл. 16.03.2017. Бюл. № 8.
4. Пат. 172758 Российская Федерация, RU 172758 МПК В21D 26/08. Устройство для листовой штамповки взрывом газовых смесей, патент на полезную модель / А. Ю. Боташев, Р. А. Байрамуков, Н. У. Бисилов, Р. С. Малсугенов, Х. Ю. Боташева. Оpubл. 21.07.2017 Бюл. № 21.
5. Пат. 178276 Российская Федерация, RU 178256 МПК В21 D 26/08. Устройство для листовой газовой штамповки, патент на полезную модель / А. Ю. Боташев, Р. А. Байрамуков, Н. У. Бисилов, Р. С. Малсугенов опубл. 28.03.2018 Бюл. № 10.
6. Пат. 2643293 Российская Федерация, RU 2643293 МПК В23К 20/14. Способ изготовления двухслойных изделий, патент на изобретение / А. Ю. Боташев, Р. А. Байрамуков, Н. У. Бисилов, Х. Ю. Боташева, Р. С. Малсугенов, . Оpubл. 31.01.2018 Бюл. № 4.
7. Пат. 2643294 Российская Федерация, RU 2643294 МПК В23К 20/16. Способ диффузионной сварки, патент на изобретение / А. Ю . Боташев, Р. А. Байрамуков, Н. У. Бисилов, Х. Ю. Боташева, Р. С. Малсугенов. Оpubл. 31.01.2018 Бюл. № 4.

Статьи и материалы конференций:

8. Байрамуков, Р. А. Анализ методов получения биметаллов обработкой давлением / Р. А. Байрамуков // Новая наука теоретический и практический взгляд: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (14 февраля 2016 г., г. Нижний Новгород). / в 3 ч. Ч.2 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – С. 125-131.
9. Байрамуков, Р. А. Исследование процесса получения биметаллических полых изделий методом высокотемпературной вытяжки. / Р. А. Байрамуков //Иновационные технологии нового тысячелетия: сборник статей

Международной научно-практической конференции, (25 сентября 2016 г., г. Пермь). В 2 ч. Ч.1 / - Уфа: АЭТЕРНА, 2016. -С. 11-16.

10. Байрамуков, Р. А. Разработка схемы экспериментального устройства для проведения исследований получения биметаллических изделий методом высокотемпературной вытяжки/ Р. А. Байрамуков, Э. Х. Джуманазаров.// Интеграция науки, общества, производства и промышленности: сборник статей Международной научно - практической конференции (13 января 2017 г., г. Казань). - Уфа: АЭТЕРНА, 2016. -С. 23-25 .

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

12. Байрамуков, Р.А. Устройство для листовой штамповки взрывом газовых смесей/ Актуальные проблемы современной науки: состояние, тенденции развития: сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции. / СевКавГГТА. – Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2017. – С. 172-176.

13. Боташев, А.Ю., Разработка конструктивной схемы устройства газовой штамповки со ступенчатой камерой сгорания/ А.Ю.Боташев, Р.А. Байрамуков//Известия Северо-Кавказской государственной гуманитарно-технологической академии. -2018. С. 14-20.