

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ГАЗОВОЙ ШТАМПОВКИ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

© 2020

- А. Ю. Боташев** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск; botashev11@mail.ru
- Р. А. Байрамуков** доцент кафедры «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск; melov.mel@mail.ru
- Н. У. Бисилов** доцент кафедры «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск; w9187124909@mail.ru
- Э. Х. Джуманазаров** аспирант кафедры «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск; info@ncsa.ru
- Р. С. Малсугенов** доцент кафедры «Технологические машины и переработка материалов»; Северо-Кавказская государственная академия, г. Черкесск; malsugenov_roma@mail.ru

Полые тонкостенные детали, широко используемые в конструкциях машин, целесообразно производить из трубных заготовок. В существующих методах производства полых изделий формоизменение трубной заготовки производится в холодном её состоянии. При этом из-за ограниченной пластичности заготовки детали сложной формы производят за несколько переходов, что повышает себестоимость их производства. Разработано новое устройство, осуществляющее штамповку полых изделий с нагревом трубной заготовки. Оно содержит камеру сгорания и рабочий цилиндр, разделённые между собой поршнем. Нагрев и формоизменение заготовки осуществляется под действием давления продуктов сгорания сжатой топливной смеси, подаваемой в полость заготовки из рабочего цилиндра. Исследование проведено на основе известных уравнений термодинамики и уравнения теплового баланса процесса сгорания газообразного топлива. Установлено, что соотношение объёмов в камере сгорания и рабочего цилиндра должно быть в пределах 2,5...5, соотношение объёмов рабочего цилиндра и полости трубной заготовки – в пределах 2...2,5. Это обеспечивает увеличение давления газа в полости заготовки в 25...32 раза, в результате чего давление газа достигает 50...65 МПа, а его температура 2300 °С. Благодаря этому процесс штамповки осуществляется в интервале температур горячей обработки, что даёт возможность штамповать детали сложной формы за одну операцию.

Штамповка деталей из трубной заготовки; газовая штамповка; газовая формовка.

Цитирование: Боташев А.Ю., Байрамуков Р.А., Бисилов Н.У., Джуманазаров Э.Х., Малсугенов Р.С. Разработка и исследование устройства газовой штамповки полых изделий из трубной заготовки // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2020. Т. 19, № 2. С. 73-84. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-73-84

Введение

В машинах и аппаратах, используемых в пищевой, химической, аэрокосмической и других отраслях промышленности, имеются многочисленные тонкостенные полые детали. Их целесообразно производить из трубных заготовок, так как при этом снижается себестоимость производства за счёт сокращения расхода материала и уменьшения количества технологических переходов технологического процесса. В настоящее время в промышленном производстве используются различные методы изготовления полых деталей из трубных заготовок [1-5]. В большинстве из них формоизменение трубной

заготовки производится в холодном её состоянии, что ограничивает технологические возможности этих методов из-за невысокой пластичности заготовок. Нагрев трубной заготовки, повышая её пластичность, обеспечивает более благоприятные условия для формоизменения. Известны устройства для штамповки деталей из трубчатой заготовки, в которых процесс деформирования заготовки, сопровождающийся её нагревом, производится под действием продуктов сгорания горючих газовых смесей. Однако развиваемое при этом давление достаточно для штамповки лишь тонкостенных деталей, имеющих сравнительно простую форму [1], что существенно ограничивает технологические возможности этих устройств. Известны также технологии изготовления полых деталей из трубных заготовок с нагревом электрическим током, но при этом существенно усложняется и удорожается используемая технологическая оснастка, что обуславливает повышение себестоимости производимых деталей [6]. В этой связи разработка новых технологий производства полых изделий из трубной заготовки и устройств для их осуществления является актуальной задачей.

Целью данной работы является разработка нового устройства для производства из трубной заготовки полых изделий с нагревом заготовки, обладающего широкими технологическими возможностями. Для достижения этой цели поставлены следующие основные задачи: разработка конструкции устройства газовой штамповки полых изделий из трубной заготовки, оптимизация его конструктивных параметров и определение его энергосиловых характеристик.

Решение задач

Расширение технологических возможностей газовой штамповки достигается увеличением давления газа на поверхность деформируемой трубной заготовки. Это осуществлено в устройстве для производства полых изделий из трубных заготовок [7], схема которого представлено на рис. 1. В этом устройстве нагрев заготовки осуществляется воздействием горячего газа. Устройство содержит корпус 1 и плиту 2, соединённые между собой при помощи стяжных колонн 3 и гаек 4, 5. В корпусе 1 размещены камера сгорания 6 и рабочий цилиндр 7 с поршнем 8, на торце которого установлен эластичный диск 9, выполненный, например, из резины. Камера сгорания 6 снабжена впускным клапаном 10, выпускным клапаном 11 и свечой зажигания 12, а рабочий цилиндр снабжён впускным клапаном 13. В верхней части корпуса 1 при помощи резьбы закреплён переходник 14, в котором выполнены сквозные каналы 15, перекрываемые шайбой 16, служащей в качестве обратного клапана. Осевое перемещение шайбы 16 ограничено болтом 17, закреплённым на переходнике 14. На плите 2 с возможностью осевого перемещения установлен винт 18, контактирующий с крышкой 19. В крышке 19 выполнены полость 20 и канал 21. На крышке установлена свеча зажигания 22 и выпускной клапан 23. В пространстве между торцом корпуса 1 и крышкой 19 располагается разрезная матрица, состоящая из двух полуматриц 26 и 27, стянутых между собой при помощи бандажей 28. Внутри матрицы располагается трубчатая заготовка 29, внутренняя полость 30 которой служит рабочей камерой устройства. Герметичность полости 30 обеспечивается уплотнениями 24 и 25. Рабочий цилиндр 7 сообщается с полостью 30 через каналы 15.

Работа устройства осуществляется следующим образом. В верхнем положении винта 18 на торец переходника 14 устанавливается матрица в сборе с трубчатой заготовкой 29 и крышкой 19. Затем винт 18, вращая, перемещают вниз до соприкосновения с крышкой 19, что обеспечивает фиксацию положения матрицы. После этого выпускные клапаны 11 и 23 закрываются. Через впускной клапан 13 в рабочий цилиндр 7 подаётся горючий газ, например пропан-бутан. При этом газ из рабочего цилиндра 7 через каналы 15, перемещая шайбу 16 вверх, поступает в рабочую полость 30. Затем через

клапан 13 подаётся сжатый воздух, в результате чего в рабочем цилиндре 7 и полости 30 заготовки образуется топливная смесь. Одновременно с этим через впускной клапан 10 подаётся горячий газ и сжатый воздух в камеру сгорания 6, и в ней образуется топливная смесь. В рабочем цилиндре 7 и камере сгорания 6 устанавливается одинаковое давление топливной смеси, благодаря этому поршень 8 остаётся неподвижным. Затем при помощи свечи 12 топливная смесь в камере сгорания 6 поджигается. При сгорании топливной смеси давление в камере сгорания 6 резко повышается. Под действием давления продуктов сгорания поршень 8 интенсивно перемещается вверх и вытесняет топливную смесь из рабочего цилиндра 7 в полость 30 заготовки. В конечной стадии хода поршня 8 эластичный диск 9 обеспечивает безударную остановку поршня 8. Благодаря сжатию давление топливной смеси в полости 30 существенно увеличивается. Эта топливная смесь поджигается свечой 22. В результате сгорания топливной смеси давление и температура в полости 30 многократно увеличиваются. При этом шайба 16 перекрывает каналы 15, предотвращая перетекание газа из полости 30 в рабочий цилиндр 7. Под действием высокого давления продуктов сгорания заготовка 29 интенсивно нагревается и деформируется – осуществляется процесс штамповки.

После завершения процесса штамповки открываются выпускные клапаны 11, 23, и продукты сгорания выпускаются из камеры сгорания 6 и полости 30. Поршень 8 с диском 9 под действием сил тяжести опускается в исходное положение. Затем, разобрав матрицу, извлекают из неё отштампованную деталь.

В данном устройстве благодаря нагреву заготовки процесс штамповки осуществляется с нагревом трубной заготовки до интервала температур горячей или тёплой обработки. При этом благодаря повышению пластичности материала обеспечивается существенное увеличение степени деформации обрабатываемой заготовки, что существенно расширяет технологические возможности данного устройства. Для повышения технико-экономических характеристик устройства необходимо произвести оптимизацию его конструктивных параметров путём исследования его рабочего процесса.

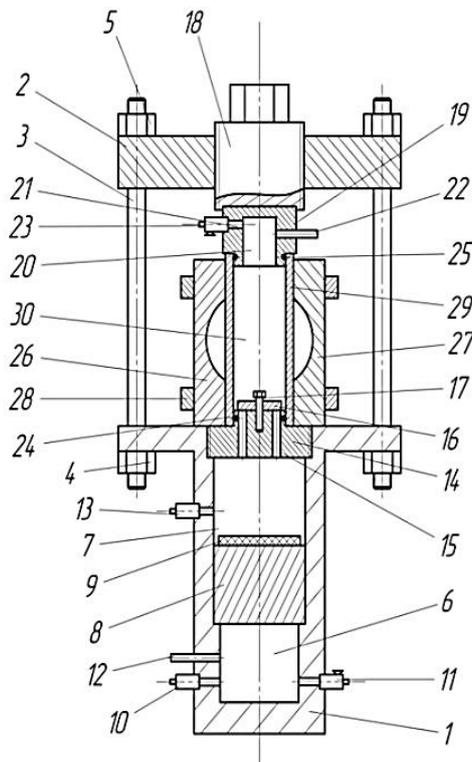


Рис. 1. Схема устройства газовой штамповки изделий из трубной заготовки

Исследование рабочего процесса устройства проведено на основе уравнений термодинамики [8]. Рабочий процесс данного устройства осуществляется в два этапа. На первом этапе происходит наполнение топливной смесью камеры сгорания, рабочего цилиндра и внутренней полости обрабатываемой трубной заготовки. Затем осуществляется сгорание топливной смеси в камере сгорания. При этом под действием давления продуктов сгорания поршень перемещается и вытесняет топливную смесь из рабочего цилиндра в полость заготовки. На втором этапе осуществляется сгорание топливной смеси в полости заготовки. При этом под действием давления продуктов сгорания трубная заготовка нагревается и деформируется, то есть осуществляется процесс штамповки. Рассмотрим каждый из этих этапов.

Первый этап рабочего процесса. В процессе сгорания топливной смеси в камере сгорания её объём увеличивается из-за перемещения поршня. Однако ввиду малости перемещения поршня будем считать, что процесс сгорания происходит при постоянном объёме. Тогда максимальное давление продуктов сгорания может быть определено следующей зависимостью:

$$P_{\max} = \lambda P_c, \quad (1)$$

где P_c – давление топливной смеси, Па; λ – степень повышения давления при сгорании в постоянном объёме, для газоздушных топливных смесей стехиометрического состава $\lambda = 7 \dots 8$.

В процессе движения поршня газ в камере сгорания расширяется. Из-за кратковременности процесса отвод теплоты от газа невелик, поэтому процесс расширения газа будем считать адиабатическим. Тогда в конце хода поршня давление газа в камере сгорания может быть определено следующей зависимостью:

$$P_k^* = P_{\max} \left(\frac{V_k}{V_k + V_u} \right)^k = P_{\max} \left(\frac{1}{1 + v_u} \right)^k, \quad (2)$$

$$v_u = V_u / V_k. \quad (3)$$

Здесь P_k^* – давление газа в камере сгорания в конце хода поршня; V_k – объём камеры сгорания, м³; V_u – объём рабочего цилиндра, м³; v_u – относительный объём рабочего цилиндра; k – показатель адиабаты продуктов сгорания.

Подставляя значение P_{\max} из зависимости (1), получим

$$P_k^* = \lambda P_c \left(\frac{1}{1 + v_u} \right)^k. \quad (4)$$

В процессе движения поршня топливная смесь из рабочего цилиндра вытесняется в полость трубной заготовки. При достаточной величине проходных сечений каналов, соединяющих рабочий цилиндр с полостью заготовки, перепад давлений между ними небольшой. Поэтому будем считать, что давление в них одинаковое.

Процесс сжатия топливной смеси в рабочем цилиндре и полости заготовки будем считать адиабатическим. При этом в процессе сжатия объём топливной смеси уменьшается от суммарного объёма рабочего цилиндра и полости заготовки до объёма поло-

сти заготовки. Тогда для состояний топливной смеси в начале движения поршня и в конце его движения можно записать:

$$P_c (V_u + V_3)^{k_c} = P_3^* V_3^{k_c}, \quad (5)$$

где V_3 – объём полости трубной заготовки, м³; P_3^* – максимальное давление топливной смеси в полости заготовки, Па; k_c – показатель адиабаты топливной смеси.

Тогда максимальное давление топливной смеси в полости заготовки равно

$$P_3^* = P_c \left(\frac{V_u + V_3}{V_3} \right)^{k_c} = P_c (v_{цз} + 1)^{k_c}, \quad (6)$$

$$v_{цз} = V_u / V_3, \quad (7)$$

где $v_{цз}$ – соотношение объёмов рабочего цилиндра и полости заготовки.

Обозначим

$$P_c = \frac{P_3^*}{P_c} = (v_{цз} + 1)^{k_c}, \quad (8)$$

где P_c – степень повышения давления топливной смеси в полости заготовки.

Тогда из зависимостей (6) и (8) получим

$$P_3^* = P_c P_c. \quad (9)$$

В процессе сжатия топливной смеси увеличивается также её температура. Учитывая зависимость (8), на основании известных соотношений адиабатического процесса [8] можно записать:

$$T_3^* = P_c^{\frac{k_c-1}{k_c}} T_c, \quad (10)$$

где T_c – абсолютная температура топливной смеси в начале процесса сжатия, К; T_3^* – максимальная абсолютная температура топливной смеси в полости заготовки, К.

Давление в полости заготовки не может превышать давления в камере сгорания. Для обеспечения максимального давления топливной смеси в полости заготовки и гарантированного удержания поршня в верхнем положении примем

$$P_3^* = 0,9 P_k^*. \quad (11)$$

Тогда из зависимостей (1), (2), (6) получим следующее уравнение:

$$0,9 \lambda P_c \left(\frac{1}{1 + v_u} \right)^k = P_c (v_{цз} + 1)^{k_c}. \quad (12)$$

Отсюда следует

$$0,9\lambda = (1 + v_u)^k (v_{uz} + 1)^{k_c}. \quad (13)$$

Решим это уравнение относительно v_u , приняв $\lambda = 8$. Тогда из (13) получим

$$v_u = \frac{7,2^{\frac{1}{k}}}{(v_{uz} + 1)^{\frac{k_c}{k}}} - 1. \quad (14)$$

Второй этап рабочего процесса. На этом этапе происходит сгорание сжатой топливной смеси в полости заготовки практически при постоянном объёме. Поэтому максимальное давление продуктов сгорания может быть определено по следующей зависимости:

$$P_{z \max} = \lambda_z P_z^*, \quad (15)$$

где $P_{z \max}$ – давление в полости заготовки в конце процесса сгорания топливной смеси; λ_z – степень повышения давления в полости заготовки в конце процесса горения.

При этом величина степени повышения давления определяется формулой:

$$\lambda_z = T_{z \max} / T_z^*, \quad (16)$$

где $T_{z \max}$ – максимальная абсолютная температура продуктов сгорания в полости заготовки.

Для определения максимальной абсолютной температуры продуктов сгорания используется уравнение теплового баланса процесса сгорания [9]:

$$\frac{22,4\xi_z H_u}{M_c} + C_{v_c} t_c = \beta C_{v_z} t_z. \quad (17)$$

Здесь ξ_z – коэффициент выделения тепла; H_u – низшая теплотворная способность 1 м³ газообразного горючего, Дж/ м³; M_c – количество топливной смеси в расчёте на 1 кмоль горючего, кмоль/кмоль горючего; β – коэффициент молекулярного изменения топливной смеси; C_{v_c}, C_{v_z} – соответственно удельные теплоёмкости топливной смеси и продуктов сгорания при постоянном объёме, Дж/(кмоль·К); t_c, t_z – соответственно температуры топливной смеси и продуктов сгорания, °С.

Уравнение (17) решается численным методом при последовательном задании различных значений температуры продуктов сгорания t_z . При этом температура топливной смеси, входящая в уравнение (17), определяется по следующей зависимости:

$$t_c = T_z^* - 273. \quad (18)$$

Исходя из зависимостей (9) и (15), можно записать

$$P_{з \max} = \lambda_3 \Pi_c P_c = \Pi_\Sigma P_c, \quad (19)$$

где Π_Σ – общая степень повышения давления в процессах сжатия топливной смеси и её сгорания.

Под действием продуктов сгорания заготовка нагревается и деформируется. При этом давление продуктов сгорания уменьшается из-за снижения их температуры и расширения. Будем считать, что заготовка сначала нагревается, а затем деформируется. Тогда снижение давления газа происходит сначала из-за его охлаждения, а затем из-за его расширения. Исходя из этого, можно считать, что в процессе нагрева заготовки давление газа изменяется пропорционально его абсолютной температуре:

$$P_{зн} = P_{з \max} \frac{T_{зн}}{T_{з \max}}, \quad (20)$$

где $P_{зн}, T_{зн}$ – соответственно давление и абсолютная температура продуктов сгорания в конце процесса нагрева заготовки.

При деформировании нагретой заготовки объем её полости увеличивается и газ расширяется. Процесс расширения газа в полости заготовки будем считать адиабатическим. Тогда давление газа в конце процесса штамповки может быть определено следующей зависимостью:

$$P_{зк} = P_{зн} \left(\frac{V_з}{V_д} \right)^k, \quad (21)$$

где $V_д$ – объём полости заготовки в конце процесса формовки, который равен объёму формируемого изделия, м³.

Величину $P_{зк}$ определим, объединив зависимости (9), (15), (20), (21):

$$P_{зк} = \lambda_3 \Pi_c P_c \frac{T_{зн}}{T_{з \max}} \left(\frac{V_з}{V_д} \right)^k. \quad (22)$$

Результаты

Из зависимостей (6), (8) и (10) следует, что с ростом соотношения объёмов $v_{цз}$ давление и абсолютная температура топливной смеси в полости заготовки непрерывно увеличиваются. Оценим по зависимости (8) степень повышения давления топливной смеси. В составе топливной смеси воздух составляет не менее 90%, поэтому показатель адиабаты топливной смеси существенно не отличается от показателя адиабаты воздуха. Исходя из этого, примем $k_c = 1,4$. Для стехиометрического состава газозоодушнoй топливной смеси можно принять показатель адиабаты $k = 1,28$.

На рис. 2 представлен график зависимости степени повышения давления топливной смеси от соотношения объёмов рабочего цилиндра и полости заготовки $v_{цз}$, построенный согласно (8). Как видно из графика, с ростом величины $v_{цз}$ степень повы-

шения давления топливной смеси интенсивно увеличивается. Однако при этом увеличиваются также объёмы рабочего цилиндра и камеры сгорания. Покажем это.

С учётом зависимостей (3) и (7) суммарный объём камеры сгорания и рабочего цилиндра определяется следующим выражением:

$$V_{\Sigma} = V_k + V_u = V_3 \frac{v_{цз}}{v_u} + v_{цз} V_3 = V_3 v_{цз} \left(\frac{1}{v_u + 1} \right). \quad (23)$$

Определим отношение суммарного объёма камеры сгорания и рабочего цилиндра к объёму внутренней полости заготовки:

$$v_{\Sigma} = \frac{V_{\Sigma}}{V_3} = v_{цз} \left(\frac{1}{v_u + 1} \right), \quad (24)$$

где v_{Σ} – относительный суммарный объём камеры сгорания и рабочего цилиндра.

Из зависимостей (14) и (24) получим

$$v_{\Sigma} = v_{цз} \left(\left(\frac{7,2^{\frac{1}{k}}}{(v_{цз} + 1)^{\frac{k_c}{k}}} - 1 \right)^{-1} + 1 \right). \quad (25)$$

На рис. 3 представлен график зависимости v_{Σ} от $v_{цз}$, построенный согласно (25). Как видно из графика, величина v_{Σ} с ростом $v_{цз}$ непрерывно увеличивается, причём при $v_{цз} > 2,5$ интенсивность роста v_{Σ} существенно увеличивается. Так при $v_{цз} = 2,5$ $v_{\Sigma} \approx 15$, а при $v_{цз} = 3$ $v_{\Sigma} = 123$, т.е. суммарный объём камеры сгорания и рабочего цилиндра в 123 раза превышает объём полости заготовки.

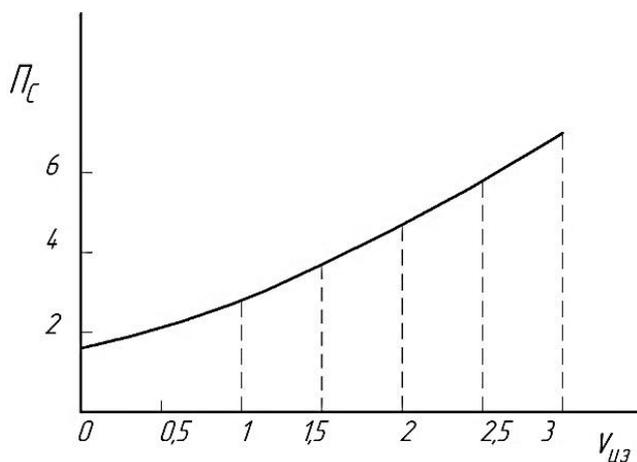


Рис. 2. Зависимость степени повышения давления топливной смеси P_c от $v_{цз}$

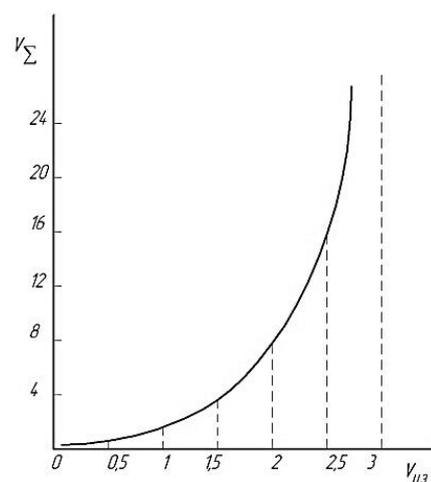


Рис. 3. Зависимость относительного суммарного объёма камеры сгорания и рабочего цилиндра от $v_{цз}$

Из графиков, представленных на рис. 2, 3, следует, что для обеспечения максимально возможного повышения давления топливной смеси при приемлемых объемах камеры сгорания и рабочего цилиндра целесообразно ограничить значения $v_{цз}$ в пределах от 2 до 2,5, т.е. эти значения $v_{цз}$ можно считать рациональными. В этом диапазоне изменения $v_{цз}$ степень повышения давления топливной смеси P_c составляет 4,6...5,8, а величина $v_{\Sigma} = 7...15$, т.е. суммарный объем камеры сгорания и рабочего цилиндра в 7...15 раз превышает объем полости трубной заготовки. При этом из зависимости (14) следует, что относительный объем рабочего цилиндра $v_{ц}$ находится в пределах 0,2...0,4, то есть объем камеры сгорания превышает объем рабочего цилиндра в 2,5...5 раз.

Оценим величины давления и температуры газа, осуществляющего процесс штамповки. Принимая $k_c = 1,4$ и учитывая, что $P_c = 4,6...5,8$, из (10) получим $T_3^* = (1,5...1,6)T_c$.

Температура топливной смеси в начале рабочего процесса близка к температуре окружающей среды. Исходя из этого, примем $T_c = 300$ К, и тогда $T_3^* = 450...480$ К.

Таким образом, абсолютная температура топливной смеси в полости заготовки в конце первого этапа составляет 450... 480 К.

Подставляя это значение в (18), получим $t_c = 177...207$ °С.

Решение уравнения (17) при этих значениях t_c показало, что конечная температура процесса сгорания топливной смеси $t_z = 2310...2330$ °С. Тогда максимальная величина абсолютной температуры газа в полости заготовки равна

$$T_{3 \max} = t_z + 273 = 2583...2603 \text{ К.}$$

При этих значениях $T_{3 \max}$ степень повышения давления λ_3 согласно зависимости (16) составляет 5,4...5,7. Примем среднее её значение равным 5,5, то есть $\lambda_3 = 5,5$. Тогда, исходя из зависимости (19) и учитывая, что $P_c = 4,6...5,8$, получим $P_{\Sigma} = 25...32$, то есть давление в полости заготовки повышается в 25...32 раза.

Максимальная величина давления топливной смеси P_c может достигать 2 МПа. Следовательно давление продуктов сгорания на поверхности обрабатываемой трубной заготовки согласно зависимости (19) достигает 50...65 МПа, что в 2...3 раза превышает давление, развиваемое в известных устройствах газовой штамповки. При этом температура продуктов сгорания составляет не менее 2300 °С. Такие высокие параметры газа обеспечивают нагрев до интервала температур горячей обработки и последующее деформирование трубных заготовок толщиной до 2...3 мм из стали и 4...5 мм из цветных сплавов. Это существенно расширяет технологические возможности данного устройства, в частности позволяет штамповать из трубных заготовок детали значительно большей толщины, а также производить за одну технологическую операцию детали сложной формы, что снижает себестоимость их производства.

Оценим по зависимости (22) давление газа в полости заготовки в конце процесса штамповки. Входящая в эту зависимость величина $T_{3н}$ зависит от материала формуемой заготовки. При штамповке стальных деталей заготовку необходимо нагреть до 1100...1300 К, а при штамповке деталей из алюминиевых сплавов – до 750...850 К. Поэтому соотношение температур $T_{3н} / T_{3 \max}$ находится в пределах 1/3...1/2. Следовательно

но в процессе нагрева стальных заготовок давление газа может уменьшаться примерно в два раза, а при нагреве заготовок из алюминиевых сплавов – примерно в 2,5...3 раза.

В процессе деформирования заготовки её объём увеличивается, при этом давление газа снижается. Максимально возможное увеличение объёма заготовки можно принять равным двум. Тогда $(V_3/V_0)^k = 0,5^{1,28} \approx 0,4$ и, согласно выражению (22), давление уменьшается в 2,5 раза.

Таким образом, к концу процесса штамповки давление газа может уменьшиться в 5...7 раз. Однако при этом за счёт нагрева заготовки сопротивляемость её деформированию уменьшается в большей степени. Поэтому, несмотря на уменьшения давления в процессе штамповки, обеспечивается непрерывное деформирование заготовки.

Заключение

Для обеспечения максимального давления газа на поверхности обрабатываемой трубной заготовки при приемлемых габаритах устройства газовой штамповки соотношение объёмов камеры сгорания и рабочего цилиндра должно быть в пределах 2,5...5, а соотношение объёмов рабочего цилиндра и полости трубной заготовки – в пределах 2...2,5.

Рекомендуемые соотношения параметров устройства газовой штамповки обеспечивают увеличение давления газа в полости обрабатываемой трубной заготовки в 25...32 раза. При этом давление газа достигает 50...65 МПа, что в 2...3 раза превышает давление, действующее в известных устройствах газовой штамповки, а температура газа составляет не менее 2300 °С.

Высокая температура и большое давление газа на поверхности обрабатываемой заготовки обеспечивают проведение процесса штамповки в диапазоне температур горячей обработки, что существенно расширяет технологические возможности устройства газовой штамповки. Это, в частности, позволяет штамповать детали из стальной трубной заготовки толщиной 2...3 мм в зависимости от диаметра заготовки.

Библиографический список

1. Ильин Л.Н., Семенов Е.И. Технология листовой штамповки. М.: Дрофа, 2009. 475 с.
2. Марьин Б.Н., Кузьмин В.Ф., Шпорт В.И., Иванов Ю.Л., Муравьев В.И. Способ получения деталей из трубных заготовок: патент РФ № 2152285; опубл. 10.07.2000.
3. Краев В.Н., Бабкин Е.А., Малыгин А.Н. Способ изготовления полых деталей из трубной заготовки: патент РФ № 2239509; опубл. 10.11.2004.
4. Сосенушкин Е.Н., Яновская Е.А., Третьякова Е.И., Сосенушкин А.Е. Штамповка конических и сферических деталей из трубных заготовок // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 11. С. 18-21.
5. Лукьянов В.П., Маткава И.И., Бойко В.А., Доценко Д.В., Елхов В.А. Гидромеханическая штамповка деталей трубопроводов. Волгоград: Панорама, 2007. 263 с.
6. Фролов П.В., Марьин Б.Н., Муравьев В.И., Макаров К.А., Макарова Е.А., Иванов Ю.Л. Штамп для раздачи труб из титановых сплавов: патент РФ № 2104815; опубл. 20.02.1998.
7. Боташев А.Ю., Джуманазаров Э.Х., Байрамуков Р.А., Малсугенов Р.С. Устройство для импульсной штамповки деталей из трубчатых заготовок: патент РФ № 186863; опубл. 06.02.2019; бюл. № 4.

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

9. Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И., Круглов М.Г., Леонов О.Б., Меднов А.А., Мизернюк Г.Н., Орлин А.С., Роганов С.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. М.: Машиностроение, 1983. 375 с.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A GAS STAMPING DEVICE FOR MAKING HOLLOW PRODUCTS FROM A PIPE BILLET

© 2020

- A. Yu. Botashev** Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the Department of Technological Machines and Material Processing; North Caucasus State Academy, Cherkessk, Russian Federation; botashev11@mail.ru
- R. A. Bayramukov** Associate Professor of the Department of Technological Machines and Material Processing; North Caucasus State Academy, Cherkessk, Russian Federation; melov.mel@mail.ru
- N. U. Bisilov** Associate Professor of the Department of Technological Machines and Material Processing; North Caucasus State Academy, Cherkessk, Russian Federation; w9187124909@mail.ru
- E. Kh. Dzhumanazarov** Postgraduate Student of the Department of Technological Machines and Processing of Materials; North Caucasus State Academy, Cherkessk, Russian Federation; info@ncsa.ru
- R. S. Malsugenov** Associate Professor of the Department of Technological Machines and Material Processing; North Caucasus State Academy, Cherkessk, Russian Federation; malsugenov_roma@mail.ru

It is advisable to produce hollow thin-walled parts widely used in machine designs from tubular blanks. In existing methods cold forming of the tubular billet takes place for the production of hollow products. In this case, due to the contained plasticity of the blank, parts of complex shape are produced in several transitions. This raises the cost of their production. We have developed a new device for forming hollow products by heating a tubular billet. The device contains a combustion chamber and a working cylinder, separated by a piston. Heating and shaping of the workpiece is carried out under the pressure of the combustion products of compressed fuel mixture supplied to the cavity of the workpiece from the working cylinder. The study was conducted on the basis of well-known equations of thermodynamics and the equations of the heat balance of the process of gaseous fuel combustion. It was found that the ratio of the volumes in the combustion chamber and the working cylinder should range within 2.5...5, and the ratio of the volumes of the working cylinder and the cavity of the pipe billet within 2...2.5. This ensures an increase in gas pressure in the blank cavity by a factor of 25...32, as a result of which the gas pressure reaches 50...65 MPa, and its temperature 2300 °C. Due to this, the stamping process is carried out in the temperature range of hot processing, which makes it possible to stamp parts of complex shape in one operation.

Stamping parts from tubular billets; gas stamping; gas forming.

Citation: Botashev A.Yu., Bayramukov R.A., Bisilov N.U., Dzhumanazarov E.Kh., Malsugenov R.S. Development and research of a gas stamping device for making hollow products from a pipe billet. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2020. V. 19, no. 2. P. 73-84. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-73-84

References

1. Il'in L.N., Semenov E.I. *Tekhnologiya listovoy shtampovki* [Technology of sheet-metal forming]. Moscow: Drofa Publ., 2009. 475 p.
2. Mar'in B.N., Kuz'min V.F., Shport V.I., Ivanov Yu.L., Murav'ev V.I. *Sposob polucheniya detaley iz trubnykh zagotovok* [Method for making parts of tubular blanks]. Patent RF, no. 2152285, 2000. (Publ. 10.07.2000)
3. Kraev V.N., Babkin E.A., Malygin A.N. *Sposob izgotovleniya polykh detaley iz trubnoy zagotovki* [Method for making hollow parts of tubular blank]. Patent RF, no. 2239509, 2004. (Publ. 10.11.2004)
4. Sosenushkin E.N., Yanovskaya E.A., Tret'yakova E.I., Sosenushkin A.E. Pipe blanks cone and sphere pieces stamping. *Blanking Productions in Mechanical Engineering*. 2010. No. 11. P. 18-21. (In Russ.)
5. Luk'yanov V.P., Matkava I.I., Boyko V.A., Dotsenko D.V., Elkhov V.A. *Gidromekhanicheskaya shtampovka detaley truboprovodov* [Hydromechanical stamping of pipeline parts]. Volgograd: Panorama Publ., 2007. 263 p.
6. Frolov P.V., Mar'in B.N., Murav'ev V.I., Makarov K.A., Makarova E.A., Ivanov Yu.L. *Shtamp dlya razdachi trub iz titanovykh splavov* [Titanium alloy pipe expanding die]. Patent RF, no. 2104815, 1998. (Publ. 20.02.1998)
7. Botashev A.Yu., Dzhumanazarov E.Kh., Bayramukov R.A., Malsugenov R.S. *Ustroystvo dlya impul'snoy shtampovki detaley iz trubchatykh zagotovok* [Device for pulse forming of parts from tubular blanks]. Patent RF, no. 186863, 2019. (Publ. 06.02.2019, bull. no. 4).
8. Erofeev V.L., Semenov P.D., Pryakhin A.S. *Teplotekhnika: uchebnik dlya vuzov* [Heat engineering: Textbook for higher education]. Moscow: Akademkniga Publ., 2008. 488 p.
9. Vyubov D.N., Ivashchenko N.A., Ivin V.I., Kruglov M.G., Leonov O.B., Mednov A.A., Mizernyuk G.N., Orlin A.S., Roganov S.G. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley* [Internal combustion engines. Theory of piston and combined engines]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983. 375 p.