

УДК 621.98.044.7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО МЕТОДА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Боташев А.Ю., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология и оборудование

пищевых производств» (botashev11@mail.ru)

Бисилов Н.У., ст. преподаватель кафедры «Технология и оборудование пищевых производств»

Малсугенов Р.С., аспирант кафедры «Технология и оборудование пищевых производств»

Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия

(369000, Россия, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36)

Аннотация. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований нового метода листовой штамповки, обеспечивающего регулируемый нагрев заготовки до заданной температуры и последующее ее деформирование двусторонним воздействием продуктов сгорания газовых смесей. Доказана возможность нагрева штампуемой заготовки непосредственно в полости матрицы до интервала температур горячей обработки. При этом время нагрева заготовки составляет менее 1 с, а давление горючей газовой смеси в зависимости от материала и толщины заготовки – 0,5 – 2,0 МПа. Получены зависимости для расчета параметров процесса штамповки. Экспериментальные исследования показали, что при данном методе за счет нагрева заготовки создаются благоприятные условия для ее деформирования. Это обеспечивает штамповку деталей сложной формы за один технологический переход, используя при этом сравнительно простую оснастку, что существенно снижает себестоимость штампуемых деталей. Благодаря этому и невысокой стоимости используемого оборудования данный метод штамповки может найти эффективное применение в промышленном производстве.

Ключевые слова: листовая штамповка, газовая штамповка, нагрев листовой заготовки, устройство для листовой штамповки, газообразная топливная смесь, пластичность, горячая обработка.

Листовая штамповка обеспечивает высокое качество получаемых деталей и малый расход материала. Поэтому она широко используется для производства деталей машин и аппаратов. При этом штамповка осуществляется в холодном состоянии листовой заготовки, т. е. при температуре окружающей среды. При такой температуре пластичность многих материалов невысока. Поэтому штамповка деталей сложной формы чаще всего производится за несколько технологических переходов, используя на каждом из них разную штамповую оснастку. Нередко между этими технологическими переходами производится также термообработка заготовки. Это значительно удорожает производство деталей.

Увеличение пластичности заготовки можно обеспечить путем ее нагрева. Однако листовая заготовка быстро остывает из-за большой площади ее поверхности. Это очень затрудняет осуществление листовой штамповки в горячем состоянии заготовки. Тем не менее, при штамповке труднодеформируемых материалов в некоторых случаях используют нагрев заготовки путем длительного воздействия на нее горячего газа [1, 2]. Нагрев заготовки производят также при помощи электрического тока непосредственно в полости штамповой оснастки. Однако эти методы нагрева заготовки чрезмерно дорогостоящие и не нашли широкого применения.

Целью данной работы является разработка нового метода листовой штамповки, обеспечивающего кратковременный нагрев заготовки до заданной температуры и последующее ее деформирование, и оборудования для ее реализации. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи: разработка нового метода штамповки; оценка возможности нагрева этим методом заготовки

до заданной температуры; разработка оборудования и практическая апробация новой технологии штамповки.

Для решения этих задач использована газовая штамповка [3], осуществляемая под действием давления газа и реализуемая при помощи различных устройств [4, 5], принцип работы которых основан на потреблении энергии горючих газовых смесей. При газовой штамповке в процессе деформации заготовка также нагревается под воздействием газа и ее температура повышается до 200 – 350 °С. Однако этого не достаточно для существенного повышения пластичности заготовки, в частности стальных заготовок. Для обеспечения нагрева заготовки до интервала температур горячей обработки необходимо предотвратить контакт заготовки с поверхностью матрицы в период ее нагрева. Исходя из этих предпосылок, авторами разработан метод газовой штамповки с двусторонним нагревом заготовки. На рис. 1 представлено устройство, реализующее этот метод штамповки. Устройство содержит матрицу 1 и камеру сгорания 2, которые снабжены средствами для подачи компонентов газообразной топливной смеси, ее зажигания и выпуска продуктов сгорания. Штампуемая заготовка 11 устанавливается между матрицей и камерой сгорания и зажимается кольцевым поршнем 13. Через впускные клапаны 4 и 9 в камеру сгорания и в полость матрицы подаются компоненты топливной смеси, например горючий газ и сжатый воздух. В матрице и камере сгорания образуется топливная смесь одинакового давления, которая поджигается свечами 5 и 7. В результате сгорания топливной смеси давление и температура в матрице и камере сгорания многократно увеличивается. При этом под двусторонним воздействием продуктов сгорания заготовка

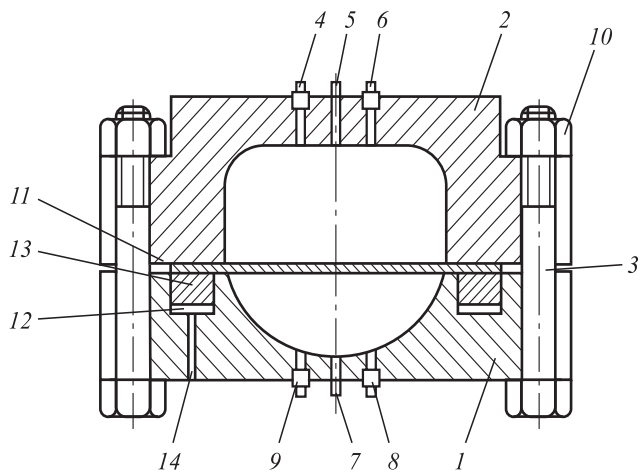


Рис. 1. Схема устройства для газовой штамповки:
 1 – матрица; 2 – камера сгорания; 3 – болт; 4, 8 – впускные клапаны; 5, 7 – свечи зажигания; 6, 9 – выпускные клапаны; 10 – гайка; 11 – заготовка; 12 – полость; 13 – кольцевой поршень; 14 – канал

Fig. 1. Scheme of the device for gas forming:
 1 – matrix; 2 – combustion chamber; 3 – bolt; 4, 8 – intake valves; 5, 7 – combustion candles; 6, 9 – exhaust valves; 10 – the workpiece; 12 – cavity; 13 – the annular piston; 14 – channel

интенсивно нагревается. При достижении заданного интервала температур открывается выпускной клапан 8 и газ из матрицы выпускается. Давление в полости матрицы падает. При этом под действием давления газа, находящегося в камере сгорания, заготовка деформируется и заполняет полость матрицы. После завершения процесса штамповки открывается выпускной клапан 6 и газ из камеры сгорания выпускается.

На базе уравнений теплопроводности, конвективного теплообмена и теплового баланса [6] проведено исследование нагрева заготовки при данном методе штамповки. При этом установлено, что вследствие высокой интенсивности нагрева, температура по толщине листовой заготовки существенно не изменяется, т. е. по всей ее толщине температура примерно одинаковая. Время, необходимое для нагрева заготовки до заданной температуры, может быть определено по следующей зависимости [7]:

$$\tau_n = \frac{s\rho_3c_3}{2\alpha(t_r - t_3)_c} t_3, \quad (1)$$

где s – толщина заготовки; ρ_3, c_3 – плотность и удельная теплоемкость материала заготовки; t_3 – температура заготовки; $(t_r - t_3)_c$ – среднее значение перепада температур между газом и заготовкой; α – коэффициент теплоотдачи. Расчеты по этому уравнению показали, что в зависимости от параметров заготовки длительность процесса нагрева составляет 0,3 – 0,6 с. Этого времени вполне достаточно для нагрева заготовки толщиной 1 – 2 мм до интервала температур горячей обработки.

Положительные результаты теоретического анализа процесса нагрева заготовки дали основание для создания оборудования, реализующего данный метод штамповки.

Были проведены экспериментальные исследования процесса нагрева штампуемой заготовки [8], результаты которых представлены на рис. 2, из которого следует, что интенсивный нагрев заготовки происходит при длительности нагрева до 0,3 – 0,5 с. При дальнейшем увеличении времени нагрева скорость роста температуры существенно снижается. Исходя из этого, а также учитывая, что в процессе нагрева заготовки снижается давление газа вследствие его охлаждения, время нагрева следует установить в пределах 0,3 – 0,5 с. Из рис. 2 видно, что температура заготовки существенно зависит от давления топливной смеси, с ростом давления интенсивность ее нагрева увеличивается. В частности, давление топливной смеси 0,7 МПа обеспечивает нагрев стальной заготовки толщиной 1 мм до 700 – 750 °С. Увеличение давления топливной смеси до 1 МПа позволяет повысить температуру заготовки до 900 °С, что соответствует интервалу температур горячей обработки стали. Следует отметить, что в уравнении (1) влияние давления газа отражается через коэффициент теплоотдачи α , с увеличением давления величина α повышается.

Вычисленные по уравнению (1) значения температуры заготовки при различных значениях времени нагрева и давления топливной смеси удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, расхождение их не превышает 12 – 15 %. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования в целом показали, что при определенном сочетании давления топливной смеси и длительности нагрева можно обеспечить нагрев штампуемой заготовки до интервала температур горячей обработки.

Для определения необходимой величины давления топливной смеси было проведено исследование процесса деформирования нагретой листовой заготовки под воздействием газа. При этом получена зависимость для определения величины давления топливной смеси, необходимой для осуществления процесса штамповки [8],

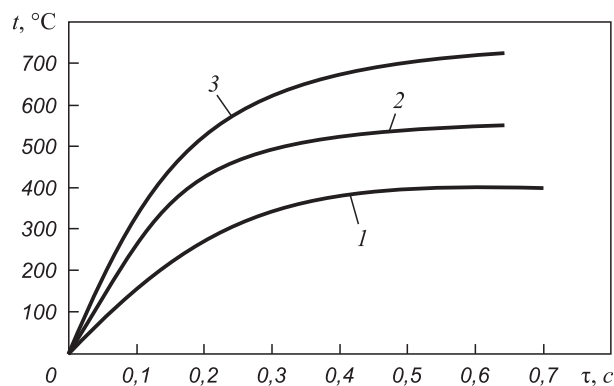


Рис. 2. Изменение во времени температуры стальной заготовки толщиной 1 мм при различных давлениях топливной смеси, МПа: 1 – 0,3; 2 – 0,5; 3 – 0,7

Fig. 2. Graphics of the variation in time of temperature of the steel billet with thickness of 1 mm at different pressures of the fuel mixture, MPa: 1 – 0.3; 2 – 0.5; 3 – 0.7

$$R_c = \frac{2s\sigma_s}{\lambda\beta R_{\min}} \left(1 + \frac{V_M}{V_K}\right)^k, \quad (2)$$

где s – толщина заготовки; σ_s – предел текучести материала заготовки при температуре штамповки; λ – степень повышения давления в результате сгорания топливной смеси при постоянном объеме; β – степень снижения давления из-за охлаждения газа при нагреве заготовки; R_{\min} – минимальный радиус кривизны формообразующей части матрицы; V_M – объем полости матрицы; V_K – объем камеры сгорания; k – показатель адиабаты.

Для проверки полученной зависимости, а также оценки технологических возможностей данного метода штамповки были проведены экспериментальные исследования. При этом штамповали сферообразные днища разной глубины, панели сотовой конструкции и панели спиральных теплообменников, показанные на рис. 3 и 4.

Днища штамповали из стальной листовой заготовки толщиной 1 мм, используя при этом цилиндрическую матрицу диаметром 400 мм. При этом камеру сгорания и матрицу последовательно наполняли топливной смесью. Затем одновременно поджигали топливные смеси в обеих полостях, после чего через 0,5 – 0,6 с осуществляли выпуск продуктов сгорания из полости матрицы. Эксперименты показали, что для штамповки днища из стальной заготовки толщиной 1 мм достаточно давления топливной смеси 0,2 – 0,3 МПа в зависимости от глубины днища. Эти значения давления удовлетворительно

согласуются с величиной давления, полученной по уравнению (2), их расхождение не превышает 15 %.

Штамповку панелей сотовой конструкции с размером ячеек 90×90 мм производили из алюминиевого листа толщиной 2 мм, используя решетчатую матрицу. Аналогичные конструкции используются в авиационной промышленности. Их изготавливают фрезерованием или изотермической формовкой [9]. При штамповке панелей сотовой конструкции наполнение камеры сгорания и матрицы топливной смесью и ее зажигание осуществлялось также, как при штамповке днищ, но выпуск продуктов сгорания из матрицы производили через 0,3 – 0,4 с после зажигания топливной смеси. Эксперименты показали, что давление топливной смеси 0,3 – 0,4 МПа достаточно для получения деталей хорошего качества.

В пищевых производствах используются спиральные теплообменники [10], в которых канал для течения теплоносителя имеет форму спирали. В данном случае канал имел форму спирали Архимеда с шагом 30 мм, что наиболее приемлемо для создания компактных спиральных теплообменников. Штамповку панелей со спиральным каналом производили из алюминиевого листа толщиной 2 мм. Штамповая оснастка состояла из матрицы со спиральным каналом и прижимного кольца для зажима фланца заготовки. Время нагрева заготовки составляло 0,3 – 0,4 с. Проведенные эксперименты показали, что при давлении топливной смеси 0,5 – 0,6 МПа обеспечивается хорошее качество получаемой детали.

Обобщая изложенное, можно заключить следующее. Разработанный метод газовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки обеспечивает ее нагрев до заданной температуры и последующее деформирование, что создает благоприятные условия для штамповки деталей сложной формы. При этом максимальная температура заготовки зависит от давления горючей газовой смеси и длительности нагрева заготовки. Необходимая величина давления газовой смеси в зависимости от материала

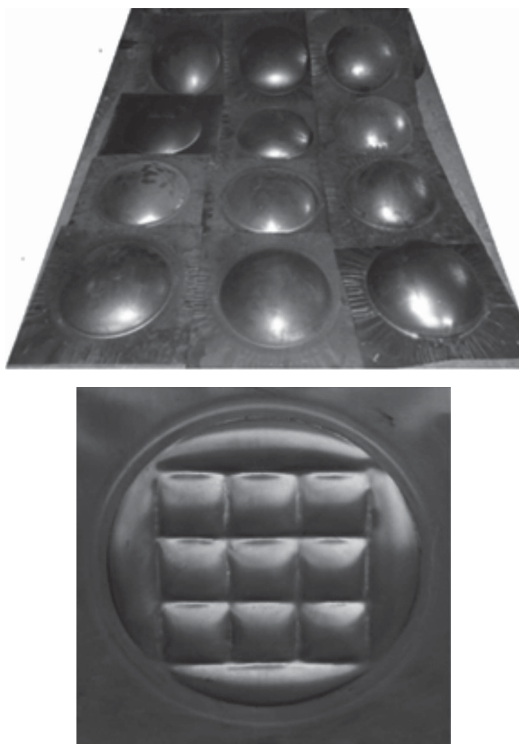


Рис. 3. Сферообразные днища и панель сотовой конструкции

Fig. 3. The sphere-like bottom and honeycomb panel

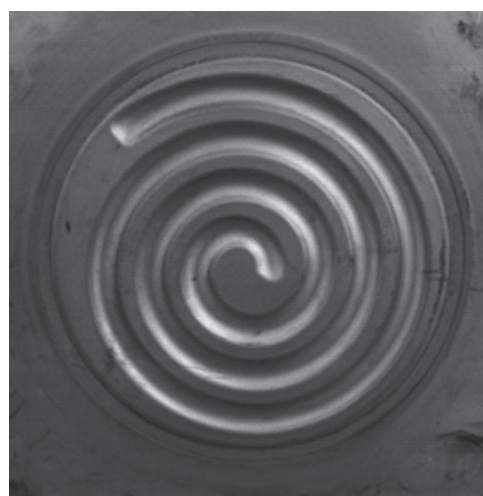


Рис. 4. Панель со спиральным каналом

Fig. 4. Panel with the spiral channel

и толщины заготовки составляет 0,5–2,0 МПа, оптимальная величина длительности нагрева – 0,3–0,5 с. Данный метод штамповки обладает широкими технологическими возможностями и позволяет штамповать детали сложной формы за один технологический переход, используя сравнительно простую штамповую оснастку, что существенно снижает себестоимость штампуемых деталей. Оборудование, осуществляющее данный метод штамповки, отличается компактностью, малой металлоемкостью и невысокой стоимостью. Благодаря этим достоинствам данный метод штамповки может найти эффективное применение в промышленном производстве, особенно в мелкосерийном и опытно-производственных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных металлов / С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, С.С. Яковлев, Я.А. Соболев. – М.: Машиностроение-1, изд. ТулГУ, 2004. – 427 с.
2. Ларин С.Н. Пневмоформовка ячеистых панелей из анизотропного материала // Изв. ТулГУ. Технич. науки. Вып. 3. – Тула: изд. ТулГУ, 2010. С. 51–61.
3. Бычков С.А., Борисевич В.К., Кривцов В.С., Брагин А.П. О концепции использования технологических критериев для выбора

- импульсных технологий листовой штамповки // Авиационно-космическая техника и технология. 2007. № 11. С. 222–231.
4. Сухов В.В. Опыт создания газозрывных систем с многоточечным инициированием детонации метано-кислородной смеси // Авиационно-космическая техника и технология. 2007. № 11. С. 182–185.
5. Мусаев А.А. Выработка исходных данных для разработки опытно-промышленного образца двухкамерного устройства для газовой листовой штамповки // Изв. вуз. Машиностроение. 2012. № 3. С. 43–48.
6. Ерофеев В.Л., Семенов П.Д., Пряхин А.С. Теплотехника: Учебник для вузов. / Под ред. В.Л. Ерофеева. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2008. – 488 с.
7. Боташев А.Ю., Бисилов Н.У. Исследование газовой листовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 3. С. 25–28.
8. Боташев А.Ю., Бисилов Н.У., Малсугенов Р.С. Исследование процесса нагрева заготовки при газовой листовой штамповке // Изв. вуз. Машиностроение. 2014. № 5. С. 20–24.
9. Ковалевич М.В. Расчет режимов пневмотермической формовки деталей коробчатой формы в режиме сверхпластичности // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 9. С. 35–39.
10. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: КолосС, 2007. – 760 с.

© 2015 г. Боташев А.Ю., Бисилов Н.У., Малсугенов Р.С.
Поступила 8 ноября 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 1, pp. 31–34.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A NEW METHOD OF STAMPING

Botashev A.Yu., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair “Food Production Technology and Equipment”
(botashev11@mail.ru)

Bisilov N.U., Senior Lecturer of the Chair “Food Production Technology and Equipment”

Malsugenov R.S., Postgraduate of the Chair “Food Production Technology and Equipment”

North Caucasian State Humanitarian and Technological Academy
(36, Stavropol'skaya str., Cherkessk, 369000, Russia)

Abstract. The article describes the results of theoretical and experimental studies of a new method of stamping with regulated heating of workpiece to a predetermined temperature and its subsequent deformation by bilateral exposure of combustion products of gas mixtures. The authors demonstrated the possibility of heating the formed preform directly into the die cavity until the hot working temperature range. At this time, heating of the billet is less than 1 s, and the pressure of the combustible gas mixture depending on the material and thickness of the preform is 0.5 ... 2.0 MPa. The dependences of the parameters are determined for the calculation of the stamping process. Experimental studies have shown that this method by heating the workpiece creates favorable conditions for its deformation. This provides stamping parts with complex shapes in a single technological transition, using relatively simple die tooling, significantly reduces the cost of the stamped parts. Due to this and the low cost of the used equipment, this method of stamping can find effective application in industrial production.

Keywords: stamping, gas-forming, heating of the slab, device for stamping, gaseous fuel mixture, plasticity, hot working.

REFERENCES

1. Yakovlev S.P., Chudin V.N., Yakovlev S.S., Sobolev Ya.A. *Izotermicheskoe deformirovanie vysokoprochnykh anizotropnykh metal-*

- lov* [Isothermal deformation of high strength anisotropic metals]. Moscow: Mashinostroenie-1, Izd-vo TulGU, 2004. 427 p. (In Russ.).
2. Larin S.N. Pneumo forming of mesh panels of anisotropic material. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. Issue 3. Tula: Izd-vo TulGU, 2010, pp. 51–61. (In Russ.).
3. Bychkov S.A., Borisevich V.K., Krivtsov V.S., Bragin A.P. On the concept of the use of technological criteria for the selection of pulse technology of sheet stamping. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2007, no. 11, pp. 222–231. (In Russ.).
4. Sukhov V.V. Experience of creating of gas-explosive systems with multipoint initiation of detonation of methane-oxygen mixture. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2007, no. 11, pp. 182–185. (In Russ.).
5. Mусаев А.А. Development of baseline data for the development of research and industrial design of dual-chamber device for gas stamping. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie*. 2012, no. 3, pp. 43–48. (In Russ.).
6. Erofeev V.L., Semenov P.D., Pryakhin A.S. *Teplotekhnika: Uchebnik dlya vuzov* [Heat engineering: Textbook for universities]. Erofeev V.L. ed. Moscow: IKTs «Akademkniga», 2008. 488 p. (In Russ.).
7. Botashev A.Yu., Bisilov N.U. Investigation of gas stamping with double heating of the billet. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroyeni*. 2013, no. 3, pp. 25–28. (In Russ.).
8. Botashev A.Yu., Bisilov N.U., Malsugenov R.S. Investigation of the process of workpiece heating in gas sheet stamping. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie*. 2014, no. 5, pp. 20–24. (In Russ.).
9. Kovalevich M.V. Calculation of modes of pneumo thermal forming of parts of box form in superplasticity mode. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroyeni*. 2006, no. 9, pp. 35–39. (In Russ.).
10. Plaksin Yu.M., Malakhov N.N., Larin V.A. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Processes and equipment for food production]. Moscow: KolosS, 2007. 760 p. (In Russ.).

Received November 8, 2014