

Технология и технологические машины

УДК 621.98.044.7

DOI 10.18698/0536-1044-2016-8-51-59

Исследование процесса нагрева заготовки при газовой формовке с противодавлением

А.Ю. Боташев, Р.С. Малсугенов, Н.У. Бисилов, Р.А. БайрамуковСеверо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, 369000, Черкесск,
Российская Федерация, ул. Ставропольская, д. 36

The Study of the Workpiece Heating Process during Gas Forming with Back-Pressure

A.Y. Botashev, R.S. Malsugenov, N.U. Bisilov, R.A. BayramukovNorth Caucasian State Academy of Humanities and Technology, 369000, Cherkessk, Russian Federation,
Stavropolskaya St., Bldg. 36

e-mail: botashev11@mail.ru, w9187124909@mail.ru, malsugenov_roma@mail.ru, melov.mel@mail.ru



Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса нагрева заготовки при газовой формовке с противодавлением. При этом методе формовки листовая заготовка интенсивно нагревается до заданного интервала температур теплой или горячей обработки, затем проводится ее деформирование. Нагрев заготовки осуществляется односторонним воздействием продуктов сгорания газообразной топливной смеси, температура которых достигает 2 000...2 200 °С. При этом с противоположной стороны заготовки прикладывается противодействие воздействием сжатого воздуха. В результате исследований получена зависимость, выражающая закономерность изменения температуры заготовки во времени. Показано, что температура заготовки зависит от ее толщины и материала, времени нагрева, а также от параметров топливной смеси. Экспериментальные исследования нагрева стальных и алюминиевых заготовок подтвердили справедливость полученной зависимости, и она может быть использована для управления процессом нагрева заготовки. При этом управляющими параметрами будут являться время нагрева и давление топливной смеси.

Ключевые слова: газовая формовка, камера сгорания, топливная смесь, нагрев заготовки.



The results of theoretical and experimental studies of the workpiece heating process during gas forming with back-pressure are presented in this article. In this method of forming, a sheet is intensively heated to the required temperature range for warm or hot processing and deformation. The workpiece is heated by unilateral exposure to the products of combustion of a gaseous fuel mixture, the temperature of which reaches 2 000...2 200 °C. At the reverse side of the sheet, back pressure is applied by compressed air. As a result of the conducted studies, the dependence expressing the pattern of the workpiece temperature change in time is obtained. It has been shown that the temperature of the workpiece depends on its thickness, material, time of heating, as well as fuel mixture parameters. The

experimental heating tests for steel and aluminum workpieces have shown the validity of the obtained dependence. It can be used for controlling the workpiece heating process where the time of heating and the fuel mixture pressure serve as the control parameters.

Keywords: gas forming, combustion chamber, fuel mixture, workpiece heating.

Конструкции машин и аппаратов содержат множество тонкостенных деталей сложной формы, имеющих сравнительно небольшую высоту: днища технологических емкостей, панели теплообменных аппаратов, крышки люков и отверстий, плоские детали с мелким сложным рельефом и т. д. Такие детали целесообразно производить листовой штамповкой или формовкой. При использовании традиционных видов штамповочного оборудования листовую штамповку осуществляют в холодном состоянии заготовки. При этом из-за ограниченной пластичности заготовки деталь изготавливают за несколько технологических переходов с использованием на каждом из них отдельной штамповой оснастки, что повышает себестоимость производимой детали. Нагрев штампуемой заготовки позволяет уменьшить количество технологических переходов и особенно необходим при штамповке деталей из труднодеформируемых сплавов [1]. Так, при газотермической формовке детали сложной формы из труднодеформируемых материалов получают за одну технологическую операцию [2, 3]. Однако нагрев и деформирование заготовки происходит под длительным воздействием нагретого инертного газа, что также повышает себестоимость производимых деталей.

Известен также метод газовой листовой штамповки, при котором нагрев заготовки осуществляется двухсторонним воздействием высокотемпературного газа, образованного при сгорании газообразных топливных смесей [4, 5]. Этот метод обеспечивает снижение себестоимости штампуемых деталей. Однако для производства деталей, имеющих полости небольшой высоты, данный метод неприемлем, так как при небольшой высоте матрицы не обеспечивается равномерное распределение давления продуктов сгорания на поверхности заготовки.

Такие детали целесообразно производить методом газовой формовки с противодействием, при котором односторонним воздействием продуктов сгорания заготовка нагревается до заданной температуры, а затем осуществляется ее деформирование. При этом в период нагрева заготовки с ее противоположной стороны со-

здается противодействие, предотвращающее преждевременное ее деформирование и контакт с поверхностью матрицы.

Цель работы — обеспечение управляемости процесса нагрева заготовки при газовой формовке. Для ее достижения поставлена следующая задача: установление аналитической зависимости, выражающей закономерность изменения температуры заготовки во времени.

Устройство для газовой формовки с противодействием, схема которого приведена на рис. 1, содержит матрицедержатель 1 и корпус 2 с камерой сгорания (КС) 5, стянутые между собой с помощью болтов 3 и гаек 4. КС снабжена впускным клапаном 6, свечой зажигания 7 и выпускным клапаном 8. На корпусе с помощью винтов закреплен цилиндр 11 с поршнем 10. Полость 9 цилиндра 11 сообщена с КС, а полость 12 трубопроводом 13 соединена с полостью 18 матрицы 17.

Устройство работает следующим образом. В кольцевую полость 14 подается под давлением жидкость, при этом кольцевой поршень 15 осуществляет зажим фланцевой части заготовки 16. В полость 20 через клапан 21 поступает сжатый воздух, который через отверстие 19 проходит в полость 18 матрицы 17, а также через трубопровод 13 в полость 12 цилиндра 11. Одновременно через клапан 6 в КС подаются компоненты топливной смеси: горючий газ и сжатый воздух. Давление топливной смеси в КС устанавливается равным давлению воздуха в полости 18. Топливная смесь с помощью свечи 7 поджигается. В процессе горения топливной смеси давление в КС повышается. Это давление передается и в полость 9 цилиндра 11. При этом под действием давления газа поршень 10 перемещается, вытесняя воздух из полости 12 в полость 18 матрицы 17. Благодаря этому давление в полости 18 увеличивается. При определенном сочетании конструктивных параметров устройства обеспечивается равенство давлений в КС и полости 18 к концу процесса сгорания топливной смеси. Это ограничивает деформацию заготовки 16 и предотвращает ее контакт с поверхностью матрицы 17.

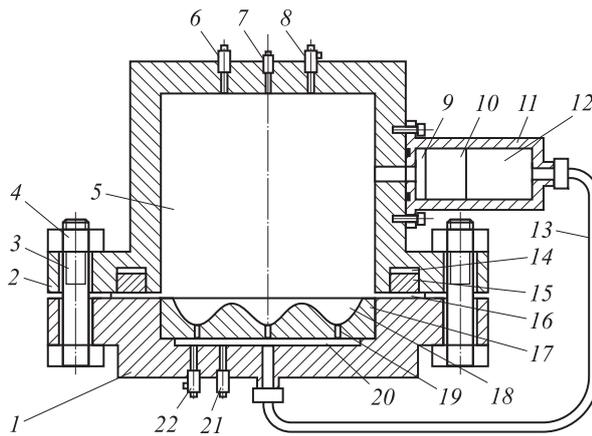


Рис. 1. Схема устройства для газовой формовки с противодавлением

После окончания процесса сгорания топливной смеси заготовка 16 еще некоторое время остается под воздействием продуктов сгорания и интенсивно нагревается. При достижении ею температуры заданного интервала температур открывается клапан 22, и воздух из полостей 18 и 20 выпускается. Давление в полости 18 падает. При этом под действием давления продуктов сгорания заготовка 16 деформируется и принимает форму матрицы 17 — осуществляется процесс формовки.

Рассмотрим процесс нагрева заготовки. К моменту окончания процесса сгорания с одной стороны заготовки находятся продукты сгорания с температурой порядка 2 000...2 200 °С, а с другой ее стороны — воздух с температурой 200...250 °С. Таким образом, перепад температур между продуктами сгорания и заготовкой почти в 10 раз больше перепада температур между воздухом и заготовкой. Кроме того, продукты сгорания сильно турбулизированы и со значительными скоростями омывают поверхность заготовки, что существенно интенсифицирует теплообмен между ними. Учитывая эти факторы, будем считать, что нагрев заготовки происходит только под односторонним воздействием продуктов сгорания. При этом вся воспринимаемая заготовкой теплота расходуется на повышение ее температуры.

В процессе нагрева заготовка деформируется несущественно, поэтому с учетом небольшой толщины ее можно рассматривать как тонкую пластину. В работе [6] показано, что при теплообмене тонкой пластины с окружающей ее газовой средой температуру по толщине пластины можно считать одинаковой,

если критерий Био меньше 0,1. В данном случае это условие выполняется, поэтому изменением температуры по толщине заготовки можно пренебречь.

Теплообмен между продуктами сгорания и заготовкой происходит за счет конвективного теплообмена и лучеиспускания. Однако, согласно теории поршневых двигателей внутреннего сгорания (в которых температура газа примерно такая же, как и в данном случае), нагрев их стенок происходит в основном за счет конвективного теплообмена [7, 8]. С учетом этого будем полагать, что нагрев заготовки происходит только за счет конвективного теплообмена. Тогда на основании уравнения теплоотдачи Ньютона–Рихмана [6] можно записать

$$dQ_3 = \alpha F_3 (t_r - t_3) dt, \quad (1)$$

где dQ_3 — элементарное количество теплоты, переданной заготовке за время dt ; α — коэффициент теплоотдачи; F_3 — площадь тепловоспринимающей поверхности заготовки, т. е. площадь поверхности, охватываемой входной кромкой матрицы; t_r и t_3 — температура газа и заготовки соответственно.

Теплота от газа также передается стенкам КС. Будем считать, что коэффициент теплоотдачи для стенок КС имеет такое же значение, как и для заготовки. Тогда количество теплоты, переданное стенкам КС, определяется уравнением

$$dQ_c = \alpha F_c (t_r - t_c) dt, \quad (2)$$

где dQ_c — количество теплоты, переданное стенкам КС за время dt ; F_c — площадь поверхности стенок КС; t_c — осредненная температура стенок КС.

До достижения температуры заготовки 400...450 °С, что соответствует интервалу температур горячей обработки алюминиевых сплавов, температура стенок КС примерно такая же, как и температура заготовки. При дальнейшем нагреве стальной заготовки ее температура становится выше температуры стенок КС. Тем не менее в первом приближении будем считать, что в течение всего процесса температура стенок КС равна температуре заготовки, т. е. $t_c = t_3$. Тогда из выражений (1) и (2) получим

$$dQ_c = \frac{F_c}{F_3} dQ_3. \quad (3)$$

Нагрев стенок КС и заготовки происходит за счет снижения температуры газа. Следовательно, справедливо уравнение

$$dQ_c + dQ_3 = -m_{\Gamma} c_{\Gamma} dt_{\Gamma}, \quad (4)$$

где m_{Γ} — масса газа; c_{Γ} — удельная теплоемкость газа при постоянном объеме. Из уравнений (3) и (4) получим

$$dQ_3 = -f_3 m_{\Gamma} c_{\Gamma} dt_{\Gamma},$$

где $f_3 = F_3 / (F_c + F_3)$.

Масса газа, находящегося в КС, определяется как

$$m_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} V_{\text{к}},$$

где ρ_{Γ} — плотность газа; $V_{\text{к}}$ — объем КС.

Тогда

$$dQ_3 = -f_3 \rho_{\Gamma} c_{\Gamma} V_{\text{к}} dt_{\Gamma}. \quad (5)$$

Количество теплоты dQ_3 , полученное заготовкой, идет на повышение ее температуры, поэтому

$$dQ_3 = m_3 c_3 dt_3, \quad (6)$$

где m_3 — масса тепловоспринимающей части заготовки; c_3 — удельная теплоемкость материала заготовки. Выразим m_3 через объем и плотность заготовки:

$$m_3 = \rho_3 F_3 \delta, \quad (7)$$

где ρ_3 — плотность материала заготовки; δ — толщина заготовки. Подставив выражение (7) в уравнение (6), получим

$$dQ_3 = \rho_3 F_3 \delta c_3 dt_3. \quad (8)$$

Из уравнений (5) и (8) имеем

$$\rho_3 F_3 \delta c_3 dt_3 = -f_3 \rho_{\Gamma} c_{\Gamma} V_{\text{к}} dt_{\Gamma}. \quad (9)$$

Площадь тепловоспринимающей поверхности заготовки

$$F_3 = \frac{\pi}{4} d_{\text{м}}^2, \quad (10)$$

где $d_{\text{м}}$ — диаметр входной кромки матрицы.

Из уравнения (9) следует, что

$$b dt_3 = -dt_{\Gamma}; \quad (11)$$

$$b = \frac{1}{f_3} \frac{\pi d_{\text{м}}^2 \delta \rho_3 c_3}{4 \rho_{\Gamma} c_{\Gamma} V_{\text{к}}}. \quad (12)$$

После интегрирования уравнения (11) получим

$$b(t_3 - t_{30}) = t_z - t_{\Gamma}, \quad (13)$$

где t_{30} — начальная температура заготовки, т. е. в момент окончания процесса горения; t_z — начальная температура газа, равная температуре конца процесса сгорания топливной смеси. Из уравнения (13) получим зависимость, связывающую текущие значения температур газа и заготовки:

$$t_{\Gamma} = t_z - b(t_3 - t_{30}). \quad (14)$$

Из уравнений (1) и (8) с учетом зависимости (14) получим

$$\rho_3 F_3 \delta c_3 dt_3 = \alpha F_3 [t_z + bt_{30} - (b+1)t_3] d\tau.$$

Тогда

$$\frac{dt_3}{t_z + bt_{30} - (b+1)t_3} = \frac{\alpha}{\rho_3 c_3 \delta} d\tau. \quad (15)$$

При изменении времени от 0 до τ температура заготовки изменяется от t_{30} до t_3 . После интегрирования уравнения (15) получим

$$-\frac{1}{b+1} \left\{ \ln [t_z + bt_{30} - (b+1)t_3] - \ln [t_z + bt_{30} - (b+1)t_{30}] \right\} = \frac{\alpha}{\rho_3 c_3 \delta} \tau.$$

Отсюда можно записать

$$\frac{t_z + bt_{30} - (b+1)t_3}{t_z - t_{30}} = e^{-\frac{\alpha(b+1)\tau}{\rho_3 c_3 \delta}}.$$

Из этого уравнения после соответствующих преобразований получим зависимость температуры заготовки от времени

$$t_3 = \frac{1}{b+1} \left[t_z \left(1 - e^{-\frac{\alpha(b+1)\tau}{\rho_3 c_3 \delta}} \right) + t_{30} \left(b + e^{-\frac{\alpha(b+1)\tau}{\rho_3 c_3 \delta}} \right) \right]. \quad (16)$$

Для определения температуры заготовки по этой зависимости необходимо знать значение коэффициента теплоотдачи α , которая существенно зависит от давления топливной смеси. Коэффициент α можно определить по следующей эмпирической зависимости, полученной на основании экспериментальных данных [9]:

$$\alpha = 4 \left(\frac{p_c + 0,1}{1,1} \right)^{0,8}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (17)$$

где p_c — давление топливной смеси, МПа.

Начальная температура заготовки t_{30} , входящая в зависимость (16), учитывает ее нагрев в процессе горения топливной смеси. Определим ее значение. Общее количество теплоты, выде-

ляющейся при сгорании топливной смеси, определяется по выражению

$$Q = H_c V_k = H'_c V_k \frac{p_c + p_a}{p_a}, \quad (18)$$

где H_c — теплотворная способность 1 м³ топливной смеси; H'_c — низшая теплотворная способность 1 м³ топливной смеси, определенной при нормальных условиях; p_a — атмосферное давление.

В процессе горения топливной смеси часть этой теплоты Q_n вследствие теплоотдачи передается стенкам КС и заготовке:

$$Q_n = \varphi Q,$$

где φ — коэффициент потери теплоты.

По экспериментальным данным [10] $\varphi = 0,15 \dots 0,20$. Будем считать, что отводимая теплота Q_n равномерно распределяется по всей тепловоспринимающей поверхности, т. е. по поверхности КС и заготовки. Тогда воспринимаемая заготовкой теплота

$$Q_3 = \frac{F_3}{F_3 + F_c} Q_n = f_3 Q_n = f_3 \varphi H_c V_k.$$

Теплота Q_3 полностью расходуется на нагрев заготовки. Тогда уравнение теплового баланса заготовки примет вид

$$f_3 \varphi H_c V_k = m_3 c_3 \Delta t_3,$$

где Δt_3 — приращение температуры заготовки в процессе горения топливной смеси. Отсюда, учитывая зависимости (7) и (10), получим

$$\Delta t_3 = \frac{4 f_3 \varphi H_c V_k}{\pi \rho_3 \delta d_m^2 c_3}.$$

Тогда температура заготовки в конце процесса горения топливной смеси

$$t_{30} = t_0 + \frac{4 f_3 \varphi H_c V_k}{\pi \rho_3 \delta d_m^2 c_3},$$

где t_0 — начальная температура заготовки при ее установке на матрицу.

Учитывая зависимость (18), можно также записать

$$t_{30} = t_0 + \frac{4 f_3 \varphi H'_c V_k}{\pi \rho_3 \delta d_m^2 c_3} \frac{p_c + p_a}{p_a}. \quad (19)$$

Выражения (12), (16), (17) и (19) в совокупности позволяют определить температуру нагрева заготовки в зависимости от параметров топливной смеси и времени нагрева. По этой зависимости выполнен расчет температуры

стальной и алюминиевой заготовок различной толщины при различном давлении топливной смеси, состоящей из сжатого воздуха с пропаном-бутаном стехиометрического состава. Расчет проведен до достижения температуры заготовки интервала горячей обработки при следующих исходных данных: $f_3 = 0,2$; $d_m = 0,4$ м; $c_T = 1$ кДж/(кг·К); $\varphi = 0,15$; $t_0 = 10$ °С; $t_z = 2\,200$ °С; $V_k = 0,0384$ м³; $H'_c = 3\,550$ кДж/м³; $p_a = 0,1$ МПа; для стали $c_3 = 460$ Дж/(кг·К), $\rho_3 = 7\,800$ кг/м³; для алюминия $c_3 = 920$ Дж/(кг·К), $\rho_3 = 2\,689$ кг/м³.

При расчете варьировали толщину заготовки δ и давление топливной смеси p_c . Результаты расчета стальной заготовки толщиной 0,5 мм приведены на рис. 2, а алюминиевой

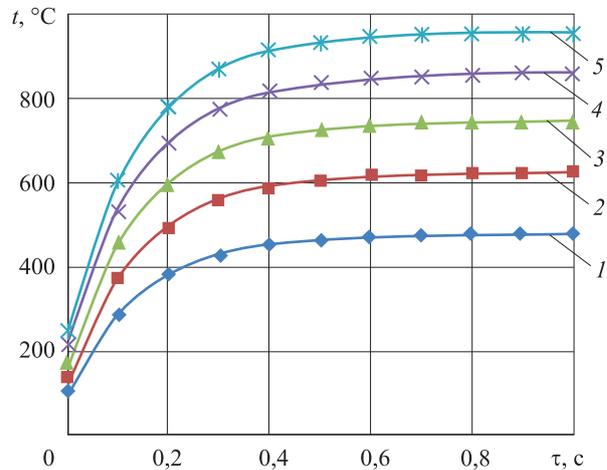


Рис. 2. Зависимость температуры t нагрева стальной заготовки толщиной $\delta = 0,5$ мм от времени τ при давлении топливной смеси $p_c = 0,4$ (1); $0,6$ (2); $0,8$ (3); $1,0$ (4); $1,2$ МПа (5)

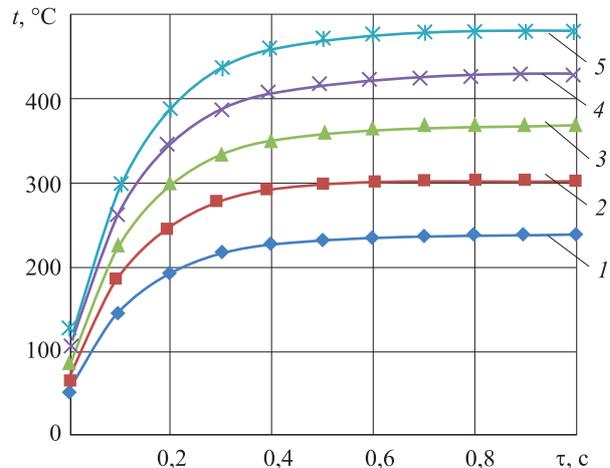


Рис. 3. Зависимость температуры t нагрева алюминиевой заготовки толщиной $\delta = 1,0$ мм от времени τ при давлении топливной смеси $p_c = 0,05$ (1); $0,10$ (2); $0,15$ (3); $0,20$ (4); $0,25$ МПа (5)

толщиной 1,0 мм — на рис. 3. Аналогичные графики получены и для других заготовок разной толщины.

Анализ представленных графических зависимостей показал, что при данном методе формовки обеспечивается нагрев заготовки до интервала температур горячей обработки. Температура нагрева заготовки существенно зависит от давления топливной смеси, материала заготовки и времени ее нагрева. Температурный интервал горячей обработки стали начинается с 800...850 °С. Для нагрева до этих температур стальной заготовки толщиной $\delta = 0,5$ мм давление топливной смеси должно составлять 1,0...1,2 МПа, а толщиной $\delta = 1,0$ мм — 2,1...2,3 МПа.

Температурный интервал горячей обработки многих алюминиевых сплавов составляет 400...450 °С. При толщине заготовки $\delta = 0,5$ мм для нагрева алюминиевой заготовки до этого интервала температур достаточно давления топливной смеси 0,2 МПа, при $\delta = 1,0$ мм — 0,5 МПа, а при $\delta = 2$ мм — 1,1...1,2 МПа.

При увеличении времени нагрева до 0,4...0,5 с температура заготовки интенсивно повышается. При дальнейшем его увеличении рост температуры заготовки непрерывно замедляется, а при времени нагрева 0,8...0,9 с температура заготовки достигает максимального значения. В процессе нагрева заготовки снижается температура продуктов сгорания, а соответственно, и давление продуктов сгорания, осуществляющее процесс формовки. Поэтому повышение времени нагрева заготовки более 0,7 с является нецелесообразным. Оптимальное значение времени нагрева заготовки составляет 0,4...0,6 с.

Для оценки достоверности полученных результатов проведены экспериментальные ис-



Рис. 4. Термоиндикаторные линии до (а) и после (б) нагрева заготовки

следования процесса нагрева заготовки. Поскольку ввиду кратковременности этого процесса средство для измерения максимальной температуры нагрева заготовки должно было быть безынерционным, в качестве такого использовали термокраски, расплавляющиеся при определенной температуре. На формуемую заготовку с помощью термоиндикаторных карандашей наносили три семейства параллельных линий, каждое из которых состояло из шести линий, отстоящих друг от друга на 10 мм. Расстояние между соседними семействами линий составляло 60 мм. Различие в чувствительности на температуру линий каждого семейства составляло 50 °С. Таким образом, каждое семейство линий охватывало интервал температур от 350 до 600 °С.

Максимальную температуру нагрева заготовки оценивали по оплавленным индикаторным линиям. Фотографии термоиндикаторных линий до и после нагрева одной из заготовок приведены на рис. 4. Эксперименты проводили на заготовке толщиной 0,5 мм из стали 0,8 и заготовке толщиной 1,0 мм из алюминия при давлении топливной смеси 0,6 МПа. При этом

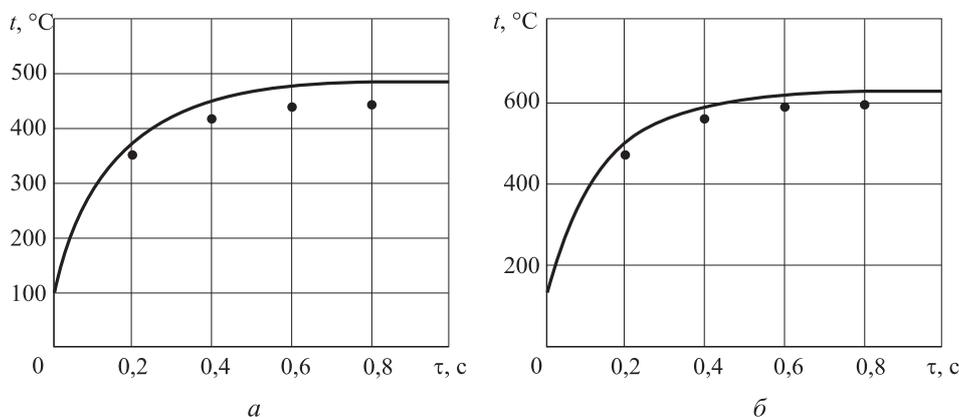


Рис. 5. Зависимость температуры t алюминиевой (а) и стальной (б) заготовок от времени τ их нагрева (точки — экспериментальные значения температуры)

варьировали время нагрева заготовки τ , т. е. оно составляло 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 с. При каждом значении τ проводили по три эксперимента.

Результаты экспериментов, проведенных на алюминиевой заготовке толщиной $\delta = 1,0$ мм, приведены на рис. 5, а. Каждая точка, изображенная на этом рисунке, представляет осредненное значение температуры заготовки по результатам трех экспериментов, проведенных при одном и том же значении времени нагрева заготовки. Температуры заготовки при времени ее нагрева 0,6 и 0,8 с несущественно отличаются друг от друга. Следовательно, в течение 0,6 с нагрев заготовки практически завершается. Максимальное значение осредненной температуры заготовки составило 433 °С. На рис. 5, а приведена также зависимость температуры заготовки от времени нагрева, полученная расчетным путем. Теоретическая кривая проходит выше экспериментальных точек, т. е. расчетные значения температуры превышают экспериментальные данные. Видимо, это связано с тем, что при теоретическом анализе не учитывается отвод теплоты от заготовки к ее фланцевой части, а также отвод теплоты к воздуху, находящемуся в полости матрицы. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений температуры показало, что их расхождение не превышает 10 %.

Аналогичные результаты получены для стальных заготовок. Осредненные величины экспериментальных значений температуры за-

готовки толщиной $\delta = 0,5$ мм отмечены точками на рис. 5, б. Максимальное значение осредненной температуры заготовки составило около 570 °С. Расчетная кривая температуры заготовки проходит выше экспериментальных точек, однако характер их распределения в целом соответствует форме графика. Расхождение расчетных и экспериментальных значений температуры не превышает 12 %.

Проведенные экспериментальные исследования в целом подтвердили правильность основных результатов теоретического анализа процесса нагрева заготовки. В частности, зависимость (16) вполне приемлема для расчета температуры заготовки. Расхождение расчетных и экспериментальных значений температуры заготовки составило 10...12 %.

Выводы

1. При газовой формовке с противодавлением обеспечивается нагрев заготовки до интервала температур горячей обработки, что позволяет проводить формовку деталей сложной формы за одну технологическую операцию.

2. Получена аналитическая зависимость, выражающая закономерность изменения температуры заготовки во времени, которая подтверждена экспериментально.

3. Полученная зависимость позволяет регулировать нагрев заготовки в процессе формовки.

Литература

- [1] Ильин Л.Н., Семенов И.Е. *Технология листовой штамповки*. Москва, Дрофа, 2009. 475 с.
- [2] Ковалевич М.В. Расчет режимов пневмотермической формовки деталей коробчатой формы в режиме сверхпластичности. *Кузнечно-штамповочное производство*, 2006, № 9, с. 35–39.
- [3] Ларин С.Н. Пневмоформовка ячеистых панелей из анизотропного материала. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2010, вып. 3, с. 51–61.
- [4] Боташев А.Ю., Бисилов Н.У., Малсугенов Р.С. Экспериментальные исследования газовой листовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2014, № 1, с. 17–19.
- [5] Botashev A.Yu., Bisilov N.U. The research and creation of device for the gas punching with bilateral heating of stock material. *Applied and Fundamental Studies. Proceedings of the 2nd International Academic Conference, March 8–10 2013*, vol. 1, St. Louis, Missouri, USA, pp. 195–198.
- [6] Карминский В.Д. *Техническая термодинамика и теплопередача*. Москва, Маршрут, 2005. 224 с.
- [7] Дьяченко В.Г. *Теория двигателей внутреннего сгорания*. Харьков, ХНАДУ, 2009. 500 с.
- [8] Ковылов Ю.Л. *Теория рабочих процессов и моделирование процессов ДВС*. Самара, Изд-во СГАУ, 2013. 416 с.

- [9] Боташев А.Ю., Бисилов Н.У. Исследование газовой листовой штамповки с двухсторонним нагревом заготовки. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2013, № 3, с. 25–28.
- [10] Кривцов В.С., Боташев А.Ю., Застела А.Н., Мазниченко С.А., Планковский С.И., Сапрыкин В.Н. *Импульсная резка горячего металла*. Харьков, Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. 476 с.

References

- [1] Il'in L.N., Semenov I.E. *Tekhnologiya listovoi shtampovki* [Technology sheet metal forming]. Moscow, Drofa publ., 2009. 475 p.
- [2] Kovalevich M.V. Raschet rezhimov pnevmotermicheskoj formovki detalei korobchatoi formy v rezhime sverkhplastichnosti [The calculation of modes pneumothoraces parts forming the box-shaped form in the superplasticity]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure]. 2006, no. 9, pp. 35–39.
- [3] Larin S.N. Pnevmoformovka iacheistykh paneli iz anizotropnogo materiala [The pneumatic forming of honeycomb panels from anisotropic material]. *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestija TulGU. Technical sciences]. 2010, is. 3, pp. 51–61.
- [4] Botashev A.Iu., Bisilov N.U., Malsugenov R.S. Eksperimental'nye issledovaniia gazovoi listovoi shtampovki s dvukhstoronnim nagrevom zagotovki [Experimental studies of gas forming with bilateral heating of stock material]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* [Blanking Productions in Mechanical Engineering]. 2014, no. 1, pp. 17–19.
- [5] Botashev A.Yu., Bisilov N.U. The research and creation of device for the gas punching with bilateral heating of stock material. *Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 2nd International Academic Conference, March 8–10 2013*, vol. 1, St. Louis, Missouri, USA, pp. 195–198.
- [6] Karminskii V.D. *Tekhnicheskaja termodinamika i teploperedacha* [Technical thermodynamics and heat transfer]. Moscow, Marshrut publ., 2005. 224 p.
- [7] D'iachenko V.G. *Teoriia dvigatelei vnutrennego sgoraniia* [Theory of internal combustion engines]. Khar'kov, KhNAHU publ., 2009. 500 p.
- [8] Kovylov Iu.L. *Teoriia rabochikh protsessov i modelirovanie protsessov DVS* [The theory of working processes and process modeling engine]. Samara, Samara State Aerospace University publ., 2013. 416 p.
- [9] Botashev A.Iu., Bisilov N.U. Issledovanie gazovoi listovoi shtampovki s dvukhstoronnim nagrevom zagotovki [Research of gas sheet punching with bilateral heating of stock material]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* [Blanking Productions in Mechanical Engineering]. 2013, no. 3, pp. 25–28.
- [10] Krivtsov V.S., Botashev A.Iu., Zastela A.N., Maziuchenko S.A., Plankovskii S.I., Saprykin V.N. *Impul'snaia rezka goriachego metalla* [Pulse cutting hot metal]. Khar'kov, KhAI publ., 2005. 476 p.

Статья поступила в редакцию 22.04.2016

Информация об авторах

БОТАШЕВ Анвар Юсуфович (Черкесск) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технологические машины и переработка материалов». Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия (369000, Черкесск, Российская Федерация, ул. Ставропольская, д. 36, e-mail: botashev11@mail.ru).

БИСИЛОВ Назим Урусланович (Черкесск) — доцент кафедры «Технологические машины и переработка материалов». Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия (369000, Черкесск, Российская Федерация, ул. Ставропольская, д. 36, e-mail: w9187124909@mail.ru).

МАЛСУГЕНОВ Роман Сергеевич (Черкесск) — ассистент кафедры «Технологические машины и переработка материалов». Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия (369000, Черкесск, Российская Федерация, ул. Ставропольская, д. 36, e-mail: malsugenov_roma@mail.ru).

БАЙРАМУКОВ Рашид Альбертович (Черкесск) — аспирант кафедры «Технологические машины и переработка материалов». Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия (369000, Черкесск, Российская Федерация, ул. Ставропольская, д. 36, e-mail: melov.mel@mail.ru).

Information about the authors

BOTASHEV Anvar Yusufovich (Cherkessk) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Technological Machines and Material Processing Department. North Caucasian State Academy of Humanities and Technology (369000, Cherkessk, Russian Federation, Stavropolskaya St., Bldg. 36, e-mail: botashev11@mail.ru).

BISILOV Nazim Uruslanovich (Cherkessk) — Associate Professor, Department of Technological Machines and Material Processing. North Caucasian State Academy of Humanities and Technology (369000, Cherkessk, Russian Federation, Stavropolskaya St., Bldg. 36, e-mail: w9187124909@mail.ru).

MALSUGENOV Roman Sergeevich (Cherkessk) — Teaching Assistant, Department of Technological Machines and Material Processing. North Caucasian State Academy of Humanities and Technology (369000, Cherkessk, Russian Federation, Stavropolskaya St., Bldg. 36, e-mail: malsugenov_roma@mail.ru).

BAYRAMUKOV Rashid Albertovich (Cherkessk) — Postgraduate, Department of Technological Machines and Material Processing. North Caucasian State Academy of Humanities and Technology (369000, Cherkessk, Russian Federation, Stavropolskaya St., Bldg. 36, e-mail: melov.mel@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышел в свет учебник
Р.З. Кавтарадзе

«Локальный теплообмен в поршневых двигателях»

Учебник посвящен исследованию локального теплообмена в поршневых двигателях. Значительная его часть написана на основе результатов, полученных в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ряд вопросов в теории поршневых двигателей рассматривается впервые. В данный учебник, написанный на основе учебного пособия с тем же названием (1-е изд. — 2001 г., 2-е изд. — 2007 г.), включены новые материалы, отражающие достижения последних лет в этой области науки. Содержание учебника соответствует курсу лекций, который автор читает в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для магистрантов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников, занимающихся созданием перспективных двигателей, а также исследованием и доводкой существующих моделей.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru