

Key words: compressor unit, special-purpose rooms, heat chambers for testing electronic components, adsorptive drying, greasy contamination, building structures.

References

1. SNiP 23-02-2003. Teplovaja zashhita zdaniy. – M., 2003.
2. Sedov L.I. Mehanika sploshnoj sredy. – T. 2. – M.: Nauka, 1992. – 567 s.
3. Merkulov A.P. Vihrevoj jeffekt i ego primeneniye v tehnikе. – M.: Mashinostroyeniye, 1991. – 386 s.
4. Fil'tr dlja ochistki vozduha / Patent RF na izobretenie № 2122067 ot 20.09.2009 Bjul.26
5. Kobelev N.S., Pavlova E.V., Tanygina L.S. Teplotekhnicheskie osnovy avtomatizirovannogo kontrolya teplomasso-obmena na poristoy peregorodke ochistnogo sooruzheniya // Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – №3(42). – S. 237-241.
6. Chistye pomeshheniya: [per. s japon.] / pod red. I. Hajakavy. – M.: Mir, 1990. – 456 s.
7. Teplovlazhnostnoj rezhim ventili-ruemoj vozdushnoj proslojki / N.S. Kobelev, T.V. Aljab'eva, V.N. Kobelev [i dr.] // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2010. – № 1(30). – S. 73–77.
8. Pat. 2267831 Rossijskaja Federacija: MPK7 H 01 L 21/66. Termokamera dlja ispytaniya jelektronnyh izdelij / S.G. Emel'janov, V.N. Kobelev [i dr.]; zajavitel' i patentoobladatel' Kursk. gos. tehn. un-t. №2009114608/22; zajavl. 07.09.2010; opubl. 25.04.2012, Bjul. № 7.

УДК 620.191.46

Г.М. Журавлев, д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный университет (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

А.Е. Гвоздев, д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (gwozdew.alexandr2013@yandex.ru)

Д.А. Провоторов, канд. техн. наук, ведущий инженер-конструктор, ООО НПП «Вулкан-ТМ» (Тула) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

Н.Н. Сергеев, д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

Е.А. Гречишкин, аспирант, Тульский государственный университет (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

Д.В. Малий, аспирант, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (maliydmiriy@yandex.ru)

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ

Анализ процессов в условиях неполной горячей деформации с точки зрения практической реализации показывает, что процесс представляет собой сумму сложных взаимосвязанных термомеханических воздействий: нагрев заготовки, пластическую деформацию и охлаждение после деформации, требующих

построение сложных взаимосвязанных термомеханических моделей. Однако исследования пластического формоизменения, с учетом расчета температуры деформируемого тела и определением механических свойств, вызванных ее изменением, не нашло еще достаточно широкого применения в обработке давлением при разработке технологических процессов.

В работе исследовано влияние неоднородности температуры на механические свойства металла и процесс пластического формоизменения при неполной горячей штамповке. Рассчитано изменение температуры, происходящее в металле, в процессе неполной горячей деформации и построено температурное поле, соответствующее процессу формоизменения. Вычислены значения силовых параметров пластической деформации для стационарной стадии процесса обратного выдавливания при постоянной температуре и механических свойствах, и с неоднородностью механических свойств, вызванных неравномерным распределением температуры. Установлено влияние температурной неоднородности механических свойств на силовые параметры процесса пластического формоизменения металла при неполной горячей штамповке.

На основе выполненного расчета сделан вывод о том, что учет неоднородности температуры в зоне деформации существенно влияет на значение мощности пластической деформации. Мощность уменьшилась примерно на 24 %, кроме того, неравномерность температуры оказывает влияние на характер напряженно-деформированного состояния, позволяет более точно учесть неравномерность распределения деформаций и напряжений. Такой подход является перспективным способом оценки технологических возможностей процессов обработки металлов давлением и позволяет спроектировать технологический процесс изготовления изделий с рациональным использованием пластических свойств их материала и технологическим обеспечением формирования требуемых эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: неравномерность распределения температуры, неоднородность механических свойств, пластическое формоизменение, неполная горячая штамповка.

Одним из направлений совершенствования действующих технологических процессов является применение перспективных методов обработки металлов давлением, к числу которых относится штамповка в условиях неполной горячей деформации, являющаяся высокоэффективным способом изготовления. Однако использование объемной штамповки в условиях неполной горячей деформации с целью интенсификации технологии пластической деформации при изготовлении деталей сталкивается с проблемой стойкости рабочего инструмента. Рабочий инструмент при деформировании подвергается воздействию высоких удельных сил и температуры. Поэтому предъявляются высокие требования к точности расчета силовых параметров процесса, с учетом реальных технологических факторов и в первую очередь – температуры. Выбор оптимальной температуры для данного режима деформирования является компромиссом, учитыва-

ющим такие различные факторы, как свойства материала, форма и размеры штампуемой детали, степень деформации, необходимую точность. В настоящее время, как правило, температуру задают, исходя из марки обрабатываемого материала, и считают неизменной в процессе деформации. При этом механические свойства материала также считают постоянными. Однако изменения механических характеристик материала, вызванные температурной неравномерностью, оказывают влияние на силовые параметры процесса, на выбор технологических режимов обработки. Поэтому для эффективного использования данного режима в производстве при реализации конкретных операций объемной штамповки необходимо изучить особенности их проведения в этих специфических условиях.

Анализ процессов в условиях неполной горячей деформации, с точки зрения практической реализации, показывает, что процесс представляет собой сумму

сложных взаимосвязанных термомеханических воздействий: нагрев заготовки, пластическую деформацию и охлаждение после деформации, требующих построения сложных взаимосвязанных термомеханических моделей. Однако исследования пластического формоизменения, с учетом расчета температуры деформируемого тела и определения механических свойств, вызванных ее изменением, не нашло еще достаточно широкого применения в обработке давлением при разработке технологических процессов.

Рассмотрим процесс формирования температурного поля в зоне пластической деформации как совокупность нагрева заготовки, охлаждения, в результате передачи заготовки от нагревательного устройства в зону обработки и приращення температуры в процессе пластического формоизменения. Таким образом, изменение температуры будет функцией времени и координат.

Принимаем, что температура заготовки после нагрева постоянна во всех точках тела, что обеспечивается временем нагрева. При транспортировке нагретых заготовок от нагревательного устройства на позицию обработки они охлаждаются за счет излучения и конвекции. Расчет температурного поля заготовки с использованием классических теорий теплопроводности был осуществлен в работах [1]. Для практических расчетов тепловой поток, отводимый от твердой поверхности в окружающую среду, определяется по формуле

$$Q = \alpha(T_d - T_c)Ft,$$

где α – коэффициент теплоотдачи; T_d – температура заготовки; T_c – температура окружающей среды; F – площадь поверхности заготовки; t – время.

В то же время происходит переход тепла от более горячей части заготовки к

более холодной за счет теплопроводности, определяемой по закону Фурье. Уравнение теплопроводности в цилиндрической системе координат

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где T – температура в рассматриваемой точке; a – коэффициент температуропроводности; z, r – расстояние от оси до рассматриваемой точки.

Расчет температурных полей твердого тела в практических целях осуществляется решением уравнения теплопроводности (1) совместно с краевыми условиями. В процессах объемной штамповки в качестве исходной заготовки чаще всего используется цилиндр. Рассчитаем температурное поле для сплошного цилиндра из малоуглеродистой стали марки Ст. 20, радиус основания которого R и высота $H=2l$. Начальная температура во всех точках цилиндра одинакова и равна T_0 . Начиная с некоторого момента времени $t=0$, температура окружающей среды и, следовательно, поверхности цилиндра изменяется по линейному закону

$$T_{\text{гр}} = T_0 + bt,$$

где b – скорость охлаждения, $b=\text{const}$.

Требуется найти распределение температуры внутри цилиндра в любой момент времени. Краевая задача для сплошного цилиндра имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= a \nabla^2 T \\ T(r, z, \theta) &= T_0 = \text{const} \\ T(r, z, \theta, t) &= T(r, z, t) = T_0 + bt. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решение этой задачи находим в виде

$$T = T_1 + \Theta,$$

где T_1 – решение задачи с начальными условиями при $\varphi = (r, z, \theta) = T_0 = \text{const}$,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial t} &= a \nabla^2 T_1 \\ T_1|_{t=0} &= \varphi(r, z, \theta) = T_0 \\ T_1|_{\text{гр}} &= 0 \end{aligned} \right\},$$

Θ - решение задачи с граничными условиями $f(t) = T_0 + bt$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Theta}{\partial t} &= a \nabla^2 \Theta \\ \Theta|_{t=0} &= 0 \\ \Theta|_{\text{гр}} &= f(t) = T_0 + bt \end{aligned} \right\}.$$

Для вычислений T_1 и Θ воспользуемся известным решением задачи (2) в частном случае, когда $T_{\text{гр}} = T_c = \text{const}$ [2]:

$$\frac{T(r, z, \theta) - T_c}{T_0 - T_c} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \times \times \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0}, \quad (3)$$

где J_0 и J_1 - функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков соответственно; μ_n - корни функции Бесселя

$$\begin{aligned} \Theta(r, z, t) &= T_0 U(r, z, t) + \int_0^t b U(r, z, \theta) d\theta = T_0 - T_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0} + \\ &+ b \int_0^t \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) \frac{d\theta}{R^2}} \right] d\theta = T_0 + bt - T_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \times \\ &\times \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0} + \frac{b R^2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) \frac{e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0} - 1}{\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2}. \end{aligned}$$

Окончательно получаем решение задачи (2)

$$T_{(r,z,t)} = T_{1(r,z,t)} + \theta_{(r,z,t)} = T_0 + bt + \frac{b R^2}{a} T_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) \frac{e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0} - 1}{\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2}.$$

Для удобства записи введем следующие обозначения:

$$c_{nm} = -(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) \frac{a}{R^2}; \quad t_{nm} = \frac{A_n A_m}{C_{nm}} (1 - e^{-c_{nm} t}); \quad v_n = \frac{\mu_n}{R}; \quad \lambda_m = \frac{\mu_m}{l}.$$

Таким образом, температурное поле задается в виде

первого рода нулевого порядка, т.е. μ_n удовлетворяют уравнению $J_0(\mu_n) = 0$;

$$A_n = \frac{2}{\mu_n J_1(\mu_n)}; \quad \mu_m = (2m-1) \frac{\pi}{2};$$

$$A_m = (-1)^{m-1} \frac{2}{\mu_m}; \quad k_l = \frac{R}{r}; \quad F_0 - \text{число}$$

$$\text{Фурье, } F_0 = \frac{at}{R^2}.$$

Из уравнения (3) при $T_c = 0$ имеем

$$\begin{aligned} T_1 &= T_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \times \\ &\times \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0}. \end{aligned}$$

Для решения уравнения теплопроводности с граничными условиями используем теорему Дюамеля, так как функция окружающей среды $f(t) = T_0 + bt$ и ее производная кусочно-непрерывны при $t > 0$. Следовательно, получим

$$T = T_0 + bt + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} t_{nm} J_0(v_n r) \cos(\lambda_m z). \quad (4)$$

В качестве примера осуществим расчет охлаждения нагретой заготовки при передаче в рабочую зону. Заготовку радиусом $R = 0,008$ м, нагретую до $T_0 = 800^\circ\text{C}$ передают на рабочую позицию пресса для обработки. Продолжительность от выдачи заготовки из нагревательного устройства до обработки составляет $t = 3$ с. Длина заготовки $H = 21 = 0,016$ м. Температура окружающей среды $T_c = 20^\circ\text{C}$. Найдем температурное поле заготовки в момент начала деформации.

Ограничимся при расчете тремя членами. Уравнение для расчета примет вид:

$$T = T_0 + bt + \frac{bR^2}{a} \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 A_n A_m J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R} \right) \times \\ \times \cos \left(\mu_m \frac{z}{l} \right) \frac{e^{-(\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2) F_0} - 1}{\mu_n^2 + \mu_m^2 k_l^2}.$$

Примем следующие значения некоторых членов уравнения: $b = -3^\circ/\text{с}$ – скорость охлаждения; a – коэффициент температуропроводности $a = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; $F_0 = 0,211$ – критерий Фурье.

Расчет численных значений температуры для различных точек тела осуществлен на ЭВМ. Результаты приведены на рис. 1.

На основании проведенных расчетов получено температурное поле для момента начала пластического формоизменения.

T(i,j) °C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	791,04	791,17	791,39	791,67	791,99	792,34	792,68	792,98	793,23	793,43	793,6	793,73	793,83	793,9	793,96	794,02	794,06
2	791,04	791,17	791,37	791,64	791,96	792,3	792,62	792,91	793,15	793,35	793,51	793,63	793,73	793,8	793,86	793,9	793,94
3	791,04	791,16	791,36	791,61	791,92	792,24	792,55	792,83	793,07	793,27	793,43	793,56	793,66	793,74	793,81	793,86	793,91
4	791,03	791,15	791,34	791,59	791,88	792,19	792,49	792,77	793,02	793,23	793,41	793,56	793,69	793,8	793,9	793,99	794,08
5	791,03	791,14	791,32	791,56	791,83	792,14	792,44	792,72	792,98	793,21	793,42	793,61	793,78	793,95	794,1	794,26	794,42
6	791,03	791,13	791,29	791,51	791,77	792,06	792,35	792,63	792,89	793,14	793,38	793,6	793,82	794,03	794,25	794,47	794,71
7	791,02	791,11	791,25	791,44	791,66	791,91	792,17	792,43	792,68	792,92	793,16	793,4	793,63	793,87	794,11	794,36	794,64
8	791,02	791,08	791,19	791,33	791,49	791,68	791,88	792,08	792,28	792,48	792,68	792,88	793,08	793,28	793,5	793,73	793,97
9	791,01	791,04	791,1	791,17	791,26	791,37	791,48	791,59	791,7	791,81	791,92	792,04	792,15	792,28	792,4	792,54	792,68
10	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791
11	790,98	790,95	790,89	790,82	790,73	790,62	790,51	790,4	790,29	790,18	790,07	789,95	789,84	789,71	789,59	789,45	789,31

Рис. 1. Температурное поле заготовки в момент начала деформации

Выделение тепла при пластическом формоизменении учитывается определением интенсивности. Для процессов обработки металлов давлением допускается использование адиабатических условий. При адиабатических условиях пластического течения приращение температуры металла пропорционально накопленной пластической деформации [2]:

$$\Delta T = \frac{\sigma_s \cdot H \cdot t_n}{c \cdot \rho}, \quad (3)$$

где c – удельная теплоемкость металла заготовки, $c = 691$ [Дж/(кг·град)]; ρ –

плотность металла, $\rho = 7599$ [кг/м³]; σ_s – предел текучести [МПа]; t_n – время протекания процесса; H – интенсивность скорости деформации в узловой точке.

Для расчета численных значений приращения температуры была составлена программа на ЭВМ. В результате проведенного расчета получаем значения приращения температуры для узловых точек в пластической области на каждом шаге.

На основании проведенных расчетов температурного поля начала пластического формоизменения и приращения

температуры в результате пластического формоизменения определяем температурное поле в зоне деформации (рис.2):

$$T_{пл} = T_n + \frac{\Delta T}{2}, \quad (4)$$

T(г,г) °C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	791,04	791,17	791,39	791,67	791,99	792,34	792,68	792,98	793,23	793,43	793,6	793,73	793,83	793,9	793,96	794,02	794,06
2	791,04	791,17	791,37	791,64	791,96	792,3	792,62	792,91	793,15	793,35	793,51	793,63	793,73	807,2	826,84	867,28	847,79
3	791,04	791,16	791,36	791,61	791,92	792,24	792,55	792,83	793,07	793,27	793,43	802,48	809,82	824,86	855,51	917,83	880,4
4	791,03	791,15	791,34	791,59	791,88	792,19	792,49	832,75	904,9	905,51	900,52	909,01	916,25	926,56	912,65	875,09	840,28
5	791,03	791,14	791,32	791,56	827,11	829,45	834,45	858,85	944,04	919,97	905,77	867,24	834,11	835,48	832,17	841,95	937,26
6	791,03	791,13	924,88	979,09	980,59	983,26	980,6	988,53	969,23	963,42	900,01	865,95	859,78	836,59	834,89	857,78	977,31
7	791,02	791,11	969,87	989,94	988,93	976,04	966,61	937,32	917,42	957,6	928,61	967,65	878,9	919,8	921,68	952,46	939,39
8	791,02	791,08	928,23	930,17	937,25	962,15	969,11	914,28	930,73	929,47	924,2	923,3	925,45	922,29	925,47	955,72	922,36
9	791,01	791,04	791,1	791,17	791,26	791,37	791,48	791,59	791,7	967,04	945,79	920,55	930,4	816,37	925,97	927,84	920,66
10	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	799,31	972,12	927,33	921,74
11	790,98	790,95	790,89	790,82	790,73	790,62	790,51	790,4	790,29	790,18	790,07	789,95	789,84	789,71	789,59	828,7	900,91

Рис.2. Температурное поле заготовки в зоне пластической деформации

Полученное температурное поле зоны пластической деформации используем для уточнения расчета силовых параметров пластической деформации с учетом неоднородности распределения температуры в зоне деформации.

Для этого проведем расчет процесса пластического формоизменения цилиндрических деталей обратным выдавливанием с использованием вариационного метода и вязкопластической модели среды. Воспользуемся некоторым функционалом, составляющие которого полностью характеризуют состояние деформируемой среды в данных условиях обработки, представляющим собой разность мощностей внутренних и внешних сил, действующих на систему [3]:

$$W_{внутр.} - W_{внешн.} = 0.$$

Под мощностью внутренних сил понимаются затраты мощности, выражаемые выражением:

$$W_{внутр.} = W_{пл.} + W_{вяз.},$$

где $W_{пл.}$ – пластическая компонента мощности; $W_{вяз.}$ – вязкая компонента мощности.

где T_n – температурное поле начала пластического формоизменения; ΔT – приращение температуры в результате пластического формоизменения.

Под мощностью внешних сил понимается мощность, получаемая от воздействия осевой деформирующей нагрузки.

Запишем данный функционал в форме, непосредственно используемой для расчета.

$$I = \int_V \tau_s H dv + \int_V \frac{1}{2} \mu H^2 dv - \int_{F^*} \vec{x} \vec{v}_0 dF^* = 0, \quad (5)$$

где τ_s – предел текучести сдвига; μ – коэффициент вязкости; H – интенсивность скорости деформации сдвига; $\vec{x}$ – вектор поверхностных сил; $\vec{v}_0$ – вектор скорости движения инструмента (скорости деформирования); F^* – площадь поверхности воздействия внешних сил.

Решение данного функционала осуществим численным методом локальных вариаций при постоянном пределе текучести сдвига и коэффициенте вязкости. Например, для процесса обратного выдавливания (рис. 3).

Расчет мощности внутренних сил пластической деформации будем осуществлять в цилиндрической системе координат r, θ, z , используя подход, изложенный в работе [3]. Происходит процесс вдавливания абсолютно жесткого цилиндра

дра (пуансона) радиуса $r_n = 12,0$ мм, имеющего плоское основание, в вязкопластическую несжимаемую среду (заготовку), имеющую температуру неполной горячей

деформации T и заполняющую объем D , ограниченный жесткой поверхностью (матрицы) радиуса $r_m = 15,75$ мм (рис.3).

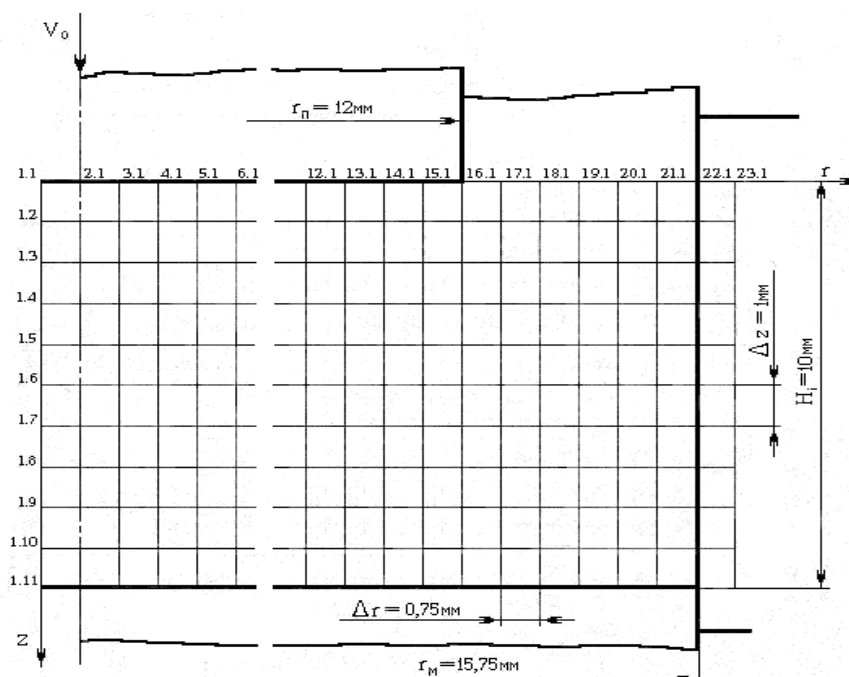


Рис. 3. Расчетная схема процесса обратного выдавливания

Вдавливание идет параллельно оси z , задача при этом является осесимметричной.

После окончания расчета на печать в текстовый файл выведено: значение полной мощности деформации $W_{пл} = 134329,30$ Вт, используя которую определили технологическую силу $P = 671646,26$ Н и удельную силу $q = 1485,42$ МПа.

Далее осуществим расчет данного процесса, минимизацию функционала с учетом изменения предела текучести сдвига и коэффициента вязкости в зоне деформации, вызванных изменением температуры, то есть при неоднородности механических свойств материала. Для этого используем полученное температурное поле заготовки (см. рис. 2.) и уравнения изменения предела текучести и коэффициента вязкости от температуры T , приведенные в работе [4].

$$\sigma_s = 7(T/10^2)^2 - 146(T/10^2) + 970;$$

$$\mu = 0,15(T/10^3)^2 - 0,315(T/10^3) + 0,195.$$

После окончания расчета на печать в текстовый файл выведено: значение полной мощности деформации $W_{пл} = 102585,45$ Вт, используя которую определили технологическую силу $P = 512927,25$ Н и удельную силу $q = 1134,39$ МПа.

Заключение

На основе выполненного расчета можно сделать вывод о том, что учет неоднородности температуры в зоне деформации существенно влияет на значение мощности пластической деформации. Мощность уменьшилась примерно на 24 %, кроме того неравномерность температуры оказывает влияние на характер напряженно-деформированного состоя-

ния, позволяет более точно учесть неравномерность распределения деформаций и напряжений. Такой подход является перспективным способом оценки технологических возможностей процессов обработки металлов давлением и позволяет спроектировать технологический процесс изготовления изделий с рациональным использованием пластических свойств их материала и технологическим обеспечением формирования требуемых эксплуатационных характеристик. Данный подход может быть полезен и при анализе других технологических процессов, например [5, 6].

Работа выполнена по научной теме №1840 в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания.

Список литературы

1. Комплексные задачи теории пластичности / Н.Д. Тутышкин, А.Е. Гвоздев, В.И. Трегубов, Ю.В. Полтавец, Е.М. Селедкин, А.С. Пустовгар, Г.М. Журавлев. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 372 с.
2. Журавлев Г.М., Дао Тиен Той. Расчет силовых параметров полугорячего прессования с раздачей // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – Вып. 6. – Ч. 2. – С. 291-300.
3. Постановка задачи расчета деформационной повреждаемости металлов и сплавов / Г.М. Журавлев, А.Е. Гвоздев, Н.Н. Сергеев, В.И. Золотухин, Д.А. Провоторов // Производство проката. – 2015. – №10. – С 18-26.
4. Журавлев Г.М., Дао Тиен Той. Испытание материала на сжатие при повышенных температурах // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2010. – Вып. 2. – Ч. 1. – С. 66-72.
5. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets / A.E. Gvozdev, I.V. Golyshev, I.V. Minayev, A.N. Sergeyev, N.N. Sergeyev, I.V. Tikhonova, D.M. Khonelidze, A.G. Kolmakov // Inorganic Materials: Applied Research. – 2015. – Т. 6. – № 4. – Р. 305-310.
6. Быстрорежущая сталь, диспергированная в керосине / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, Е.А. Воробьев, М.А. Зубарев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 5 (56). – С. 21-26.

Получено 27.05.16

G.M. Zhuravlev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State University (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

A.E. Gvozdev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State Pedagogical University named after I. N. Tolstoy (gwozdew.alexandr2013@yandex.ru)

D.A. Provotorov, Candidate of Engineering Sciences, Leading Engineer-Constructor, ООО NPP "Vulkan-TM" (Tula) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

N.N. Sergeev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Tula State Pedagogical University named after I. N. Tolstoy (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

E.V. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

E.A. Grechishkin, Postgraduate Student, Tula State Univer-University (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

D.V. Mali, Postgraduate Student, Tula State Pedagogical University Named after I. N. Tolstoy (maliydmiriy@yandex.ru)

THE INFLUENCE OF HETEROGENEITY OF MECHANICAL PROPERTIES ON FORCE PARAMETERS OF PLASTIC DEFORMATION

The analysis of processes under conditions of incomplete hot deformation from the point of view of practical implementation shows that the process itself is a sum of complex interconnected thermo-mechanical effects: billet heating, plastic deformation and cooling after deformation, which requires the construction of complex interconnected thermo-mechanical models. However, taking into account the calculation of deformable body temperature and the determination of mechanical properties caused by its change, the studies of plastic deformation still have not found wide applications in pressure treatment in developing technological processes.

The present work studies the effect of inhomogeneity of temperature on the mechanical properties of metal and process of plastic deformation at partial hot stamping. The authors have calculated the change in temperature occurring in metal in the process of incomplete hot deformation and built a temperature field that corresponds to the process of deformation. There have been calculated the values of force parameters of plastic deformation for the stationary stage of backward extrusion process at a constant temperature and mechanical properties and with the heterogeneity of mechanical properties caused by irregular distribution of temperature. There has been determined the influence of temperature inhomogeneity of mechanical properties on force parameters of the process of plastic deformation of metal at partial hot stamping.

On the basis of the performed calculation it has been concluded that taking into account the inhomogeneity of temperature in the deformation zone significantly affects the value of plastic deformation power. Power has approximately decreased by 24 %. In addition to that, the irregularity of temperature influences the nature of the stress-strain state, allows a more accurate account of uneven distribution of deformation and stress. This approach is a promising way of evaluating the technological capabilities of the processes of metals processing by pressure, and allows us to design the technological process of manufacturing products with the rational use of plastic properties of their material and technological support of forming the desired performance characteristics.

Key words: irregularity in temperature distribution, inhomogeneity of mechanical properties, plastic deformation, partial hot stamping.

References

1. Kompleksnye zadachi teorii plastichnosti / N.D. Tutyshkin, A.E. Gvozdev, V.I. Tregubov, Ju.V. Poltavec, E.M. Seledkin, A.S. Pustovgar, G.M. Zhuravlev. - Tula: Izd-vo TulGU, 2015. – 372 s.

2. Zhuravlev G.M., Dao Tien Toj. Raschet silovykh parametrov polugorjachego pressovaniya s razdachey // Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki. – 2011. – Vyp. 6. – Ch. 2. – S. 291-300.