

Н. Н. МОРОЗ (Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ И СИЛЫ ТРЕНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Побудовано алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану для визначення оптимальної сили тертя та діаметра круглої листової заготовки. Проведено порівняння результатів теоретичних розрахунків із результатами експериментальних досліджень. Визначено оптимальні величини кількості шарів та довжини елементарних сегментів, на які діляться відповідно товщина та радіус заготовки. Запропоновано рівняння для визначення сили тертя, яке додатково враховує в'язкість мастила і потовщення фланця.

Построен алгоритм расчета напряжено-деформированного состояния для определения оптимальных сил трения и диаметра круглой листовой заготовки. Проведено сравнение результатов теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований. Определены оптимальные величины количества слоев и длины элементарных участков, на которые делятся соответственно толщина и радиус заготовки. Предложено уравнение для определения силы трения, дополнительно учитывающее вязкость смазки и утолщение фланца.

The algorithm of calculation of stressed-and-strained state for determination of the optimum friction forces and the diameter of round sheet blank is developed. The theoretical results are compared with the experimental research data. The optimum values of quantity of layers and length of elementary segments, into which accordingly thickness and radius of blank are divided, are determined. The equation for determination of friction force, in addition taking into account the viscosity of lubricant and thickening the flange, is offered.

Расчет напряженно-деформированного состояния круглых листовых заготовок является основой для всех расчетов, направленных на достижение оптимального использования пластических свойств материала.

В связи с этим была составлена программа «CIRCLE», которая позволяет проводить расчет напряженно-деформированного состояния и определять конечные прогибы круглых заготовок. Данная программа записана на языке ФОРТРАН-4. Для оценки точности выбранной модели составленного алгоритма были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния листовой заготовки, подвергнутой воздействию импульсной нагрузки типа взрывной.

С этой целью в алгоритм расчета вводилась внешняя нагрузка, определенная экспериментальным путем. Затем проводилось сравнение результатов теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований.

При моделировании процесса импульсного деформирования вводились следующие данные для заготовки: материал АМЦ-АМ, $\rho = 2,62 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $E = 7,1 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, $\nu = 0,33$, $D_3 = 0,18 \text{ м}$, $\delta = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Параметры упрочнения берутся из работы [1]. Радиус перетяж-

ного ребра кольца, внутрь которого осуществлялась штамповка, задавался уравнением:

$$(R - 0,0725)^2 + (Z - 0,005)^2 = 2,5 \cdot 10^{-5}. \quad (1)$$

Учет силы трения на плоскости фланца осуществлялся по зависимости [2]:

$$F_{\text{тр}i} = 2\eta R_i l_i v_i d \phi_i h_i^{-1}, \quad (2)$$

где η – коэффициент динамической вязкости (для масла МС-20 $\eta = 18 \text{ Па} \cdot \text{с}$);

v_i – скорость перемещения i -го узла на фланце;

h_c – толщина смазочного слоя, равная $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$.

На рис. 1 представлены графические зависимости перемещения центральной точки заготовки, полученные экспериментальным путем и построенные по результатам счета. Данные сравнения кинематики профиля заготовки изображены на рис. 2.

Результаты численных расчетов и экспериментальных исследований по распределению деформаций по радиусу отштампованной детали приведены на рис. 3 – 5.

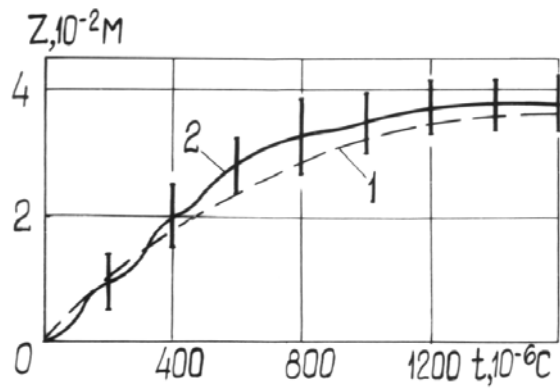


Рис. 1. Перемещения центральной точки заготовки: 1 – расчет; 2 – эксперимент

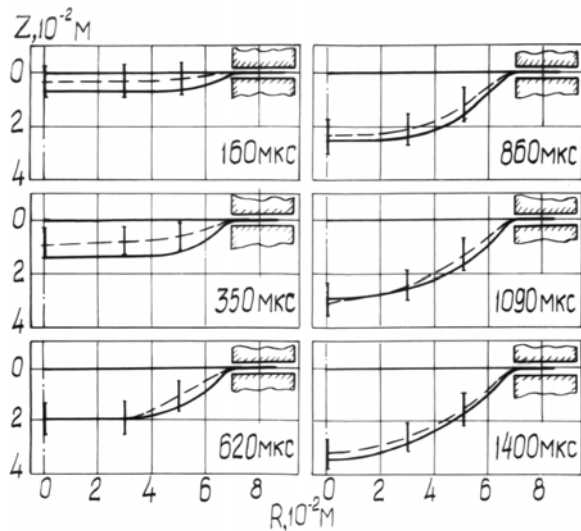


Рис. 2. Положение профиля заготовки в фиксированные моменты времени: — — — — эксперимент; — — — — расчет

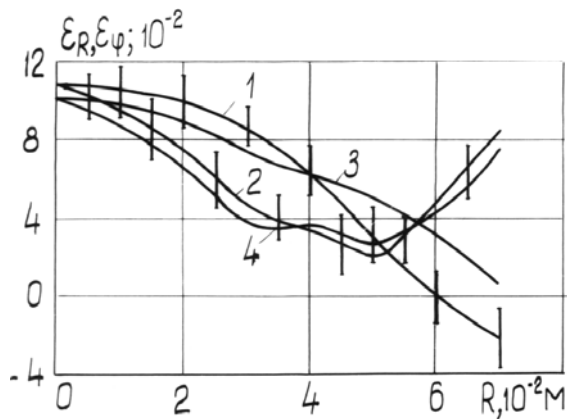


Рис. 3. Распределение окружных и радиальных деформаций: 1, 2 – ϵ_φ , ϵ_γ (эксперимент); 3, 4 – ϵ_φ , ϵ_γ (расчет)

Некоторая неравномерность перемещения точек заготовки в эксперименте (см. рис. 2) объясняется погрешностями расшифровки кинограмм (нечеткое изображение, а также неко-

торой добавкой нагрузки от отраженных ударных волн и гидротока) в процессе деформирования заготовки.

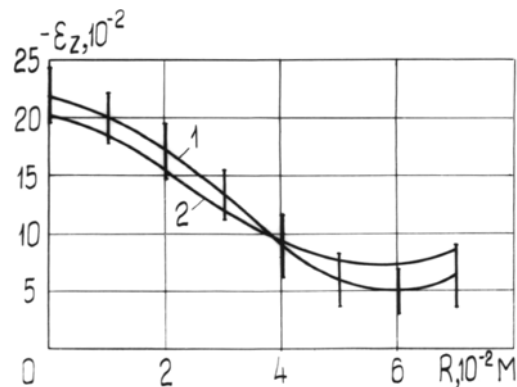


Рис. 4. Изменение деформации по толщине: 1 – эксперимент; 2 – расчет

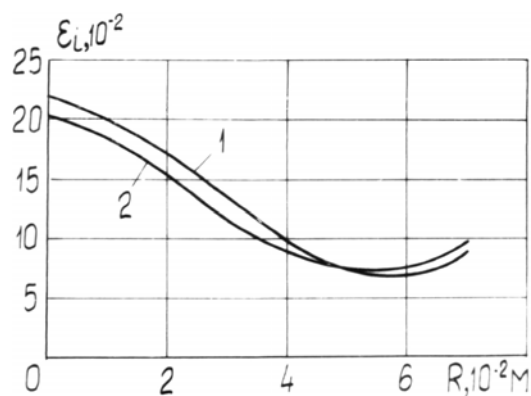


Рис. 5. Распределение интенсивности деформаций: 1 – эксперимент; 2 – расчет

На рис. 6 показано развитие радиальных деформаций вблизи центральной точки. Результаты сравнения показывают, что погрешность математической модели, описывающей количественные характеристики деформируемой заготовки как в процессе ее деформирования, так и в ее конечном состоянии, лежит в пределах 10...15 %.

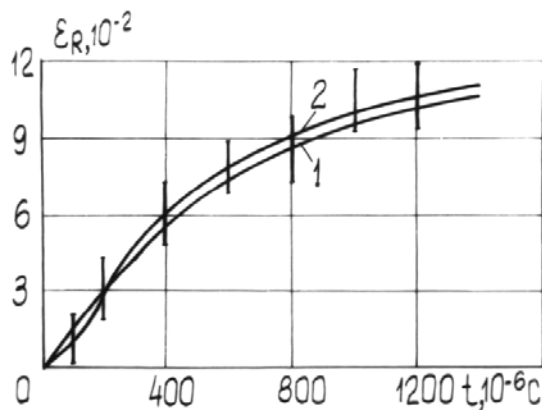


Рис. 6. Изменение во времени деформаций в центре заготовки: 1 – эксперимент; 2 – расчет

С помощью программы «CIRCLE» были проведены исследования по изучению влияния на точность расчетов количества слоев K и длины элементарного участка Δl_i , на которые делятся соответственно толщина и радиус заготовки. Оптимальными оказались следующие величины: $K = 4$ и $\Delta l_i = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Увеличение количества слоев и уменьшение длины участка существенно не повышают точность расчетов, однако время счета резко возрастает.

Силу трения можно задавать уравнением (2), но более верной будет зависимость:

$$F_{mpi} = 2\tau_i^* R_i \Delta l_i, \quad (3)$$

где τ_i^* – касательные напряжения на фланцевой части, определяемые выражением [3]:

$$\tau_{j,i} = \left[\frac{4}{h_c(1+k^*)} - \frac{3b_2}{b_1 h_c(1+k^*)} \right] \mu v_{j,i} + \frac{3b_2}{b_1 h_c(1+k^*)} \exp(-b_1 t) \int_0^t \frac{\partial v_{j,i}}{\partial t} \exp(b_1 t) dt; \quad (4)$$

$$b_1 = 6 \frac{k^*(2+k^*)}{(1+k^*)^2 \ln(1+k^*)}; \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{12}{(1+k^*) \ln(1+k^*)}, \quad (6)$$

где v_i – скорость перемещения i -й массовой точки на фланце;

μ – вязкость смазки;

h_c – толщина смазочного слоя;

k^* – коэффициент, учитывающий утолщение фланца.

На рис. 7 изображены положения заготовки, построенные по результатам численных расчетов при различных граничных условиях.

При расчетах использовались следующие исходные данные: заготовка-материал АМЦ-АМ, диаметр заготовки 0,2 м, толщина 0,001 м, нагрузка прикладывалась в виде импульса давления $I = 400 \text{ Па} \times \text{с}$. Из рис. 7 видно, что при жестком закреплении кромки заготовки после формообразования принимаем форму, близкую к конической, что подтверждают эксперименты [4].

Если фланцевая часть заготовки имеет возможность перемещаться, то ее окончательная форма при свободной штамповке во многом

определяется величиной силы трения на плоскости фланца. С помощью составленного алгоритма можно моделировать технологические процессы с приложением нагрузки в различных частях заготовки. Можно также осуществлять расчет процессов, в которых прикладывают нагрузку с меняющейся по радиусу заготовки интенсивностью. Такие случаи, в частности, имеют место, когда энергия передается заготовке через экраны, линзы, различного рода наладки.

Положения профиля заготовки в различные моменты времени для случаев приложения импульса в различных местах по радиусу заготовки показаны на рис. 8. Исходные величины для расчетов взяты аналогичными данными для вариантов, изображенных на рис. 7.

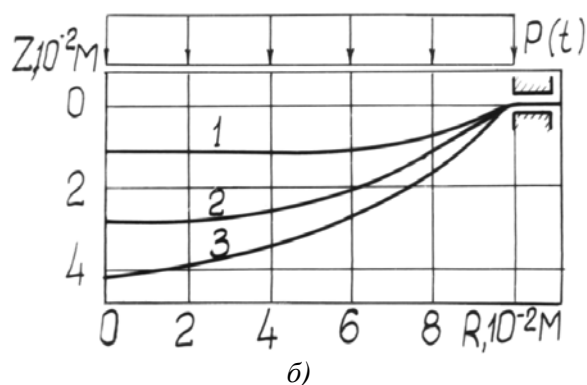
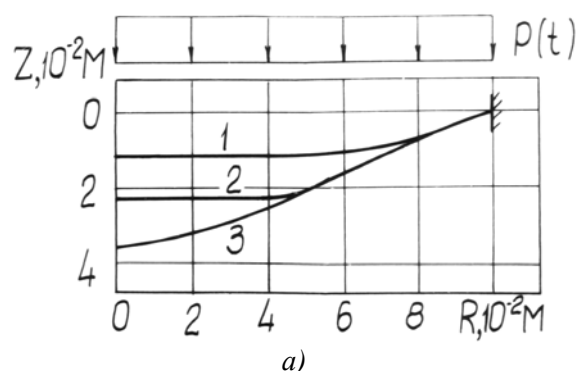


Рис. 7. Изменение профиля заготовки при различных граничных условиях:
а) штамповка без перемещения фланца;
б) штамповка-вытяжка;

1 – $350 \cdot 10^{-6}$ с; 2 – $650 \cdot 10^{-6}$ с; 3 – $950 \cdot 10^{-6}$ с

Результаты расчетов показывают, что глубина вытяжки увеличилась в среднем на 10 % при более равномерном распределении деформаций по профилю заготовки. Это можно объяснить перераспределением деформаций в процессе волнообразного перемещения заготовки. Данную картину подтвердили экспериментальные исследования [5].

Созданная математическая модель позволяет рассчитать оптимальный исходный диаметр заготовки и оптимальную силу трения, применение которой обеспечит достижение максимальной степени вытяжки. Блок-схема такого расчета приведена на рис. 9.

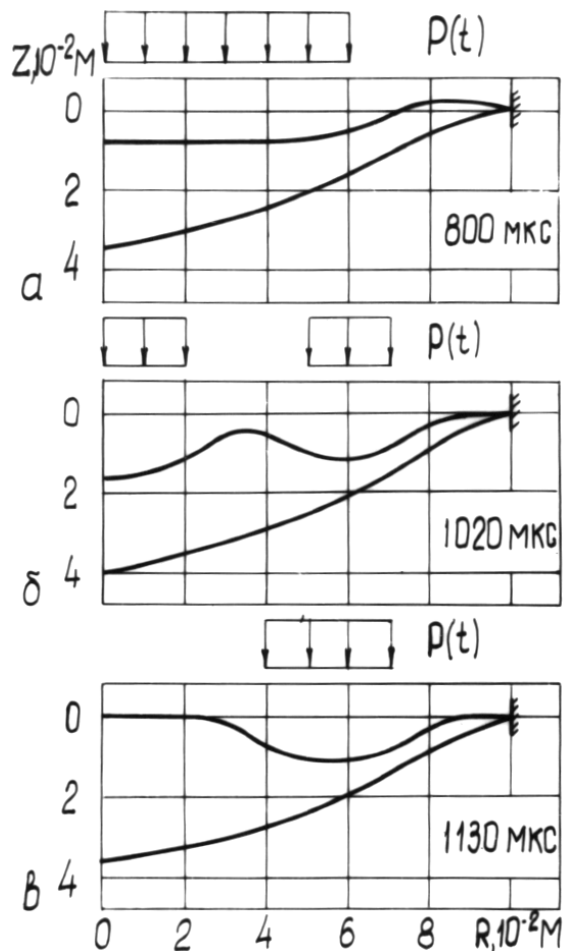


Рис. 8. Влияние места приложения внешней нагрузки на процесс деформирования

На первом этапе задается заведомо больший диаметр заготовки и большая сила трения. После расчета напряженно-деформированного состояния проводится сравнение величин прогибов заготовки на текущем и предыдущем шагах итерации. Если разность больше нуля, то осуществляется уменьшение силы трения (блок I). Проводится новый расчет до тех пор, пока уменьшение $F_{\text{тр}}$ не приведет к увеличению коэффициента вытяжки. В противном случае счет передается на блок II, и осуществляется поиск оптимального диаметра заготовки при постоянной силе трения (вычисленной в блоке I).

Таким последовательным подбором определяются оптимальные сила трения и диаметр заготовки. Можно, задавшись постоянным зна-

чением одной из этих двух величин, оптимизировать значение другой.

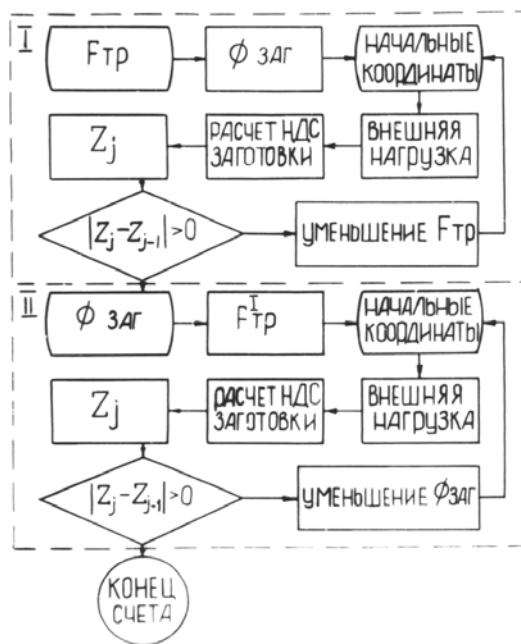


Рис. 9. Блок-схема расчета оптимального диаметра заготовки и оптимальной силы трения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андриенко, А. М. Динамические характеристики некоторых металлов и сплавов [Текст] / А. М. Андриенко // Импульсная обработка металлов давлением : Темат. сб. науч. тр. – Вып. 9. – Х.: ХАИ, 1981. – С. 75-83.
2. Исаченков, Е. И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением [Текст] / Е. И. Исаченков. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Драгобецкий, В. В. Управление силами контактного трения в технологических процессах импульсной штамповки [Текст] / В. В. Драгобецкий, А. М. Андриенко, А. А. Имшенецкий // Импульсная обработка металлов давлением : Темат. сб. науч. тр. – Х.: ХАИ, 1986. – С. 47-53.
4. Развивончик, В. Ф. Штамповка-вытяжка конических деталей [Текст] / В. Ф. Развивончик // Импульсная обработка металлов давлением : Темат. сб. науч. тр. – Вып. 3. – Х.: ХАИ, 1971. – С. 58-64.
5. Резонансные явления в процессах формоизменения листовых заготовок [Текст] / В. В. Драгобецкий [и др.] // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – Вып. 6/2006 (41), ч. 2. – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 25-26.

Поступила в редколлегию 07.12.2009.

Принята к печати 22.12.2009.