

УДК 621.77.073:519.87

Коробко Т. Б.
Козачишен В. А.**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТОЛЩИНЫ ПРИ ВЫТЯЖКЕ В ШТАМPE С ПОВОРОТНЫМИ ДИСКАМИ**

В настоящее время большое внимание уделяется качеству выпускаемой продукции и оптимизации технологии производства. В работах [1, 2, 3] исследуется штамп с поворотными дисками для получения изделий цилиндрической формы.

При помощи поворотных дисков производится образование гофра, при этом снижаются потери на трение на фланце. В конце стадии гофрирования заготовка имеет неравномерное распределение толщины, которое в процессе вытяжки с последующей протяжкой выравнивается. Расчет распределения толщины в процессе гофрирования основан на анализе напряженно-деформированного состояния заготовки. Данная задача является довольно трудоемкой, однако, учитывая интенсивное внедрение компьютерной техники во все сферы деятельности и, как следствие, актуальность автоматизации любых расчетов, можно ограничиться лишь записью основных, характерных для данного процесса, уравнений, позволяющих получить необходимый результат существующими численными методами.

В работе [2] проведен анализ напряженно-деформированного состояния металла на стадии гофрирования. Предложенные выражения громоздки и усложняют модель, для этого принимают некоторые допущения.

Целью работы является построение вычислительного алгоритма, пригодного для создания программного модуля.

Технология получения гофрированной заготовки, позволяет рассматривать процесс по характерным участкам:

- линейные горизонтальные – участки от центра заготовки до края заготовки;
- закругленные – участки;
- линейные участки конической формы.

При составлении уравнений равновесия и пластичности для каждого из участков можно принять следующие допущения:

- напряженно-деформированное состояние металла плоское (пренебрегаем σ_z);
- распределение толщины по радиусу неоднородно;
- на линейных конических участках контакт с поверхностью штампа отсутствует;
- на участке от края заготовки до контакта с роликом действует прижим;
- при переходе через среднюю точку производная $\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}$ меняет знак;
- при переходе через точки перегиба тангенциальное напряжение меняет знак.

Для определения деформаций воспользуемся законом сохранения объема в виде:

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot R_{3z}^2 \cdot S_0}{F(R_2) \cdot \bar{S}} = 1, \quad (1)$$

где R_{3z} – радиус исходной заготовки;

S_0 – исходная толщина заготовки;

$F(R_2)$ – площадь поверхности гофра с наружным радиусом изделия R_2 ;

\bar{S} – средняя толщина гофрированной заготовки, которая может быть определена по формуле:

$$\bar{S} = \frac{1}{R_2} \cdot \int_0^{R_2} S(\rho) d\rho. \quad (2)$$

Используя уравнение связи напряжений и деформаций совместно с выражением (1) и принимая, что на краю заготовки радиальное напряжение равно нулю, получим уравнение для определения радиуса гофра R_2 :

$$d\varepsilon_\rho - d\varepsilon_z = 0; \quad \frac{\ell}{\ell_0} = \frac{S}{S_0} = \frac{\pi \cdot R_{32}^2}{F(R_2)}; \quad L(R_2) \cdot F(R_2) = \pi \cdot R_{32}^3, \quad (3)$$

где $L(R_2)$, ℓ – начальная и конечная длины огибающей срединной линии гофра радиусом R_2 .

Составляющую равновесия $\frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}$ можно определить из уравнения связи напряжений и деформаций и закона сохранения объема [3]:

$$\frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho} = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{\sigma_\rho - 2 \cdot \sigma_\theta}. \quad (4)$$

Из геометрических соображений радиусы R_ρ и R_θ можно заменить функциями:

$$R_\rho = \frac{|\rho - R'|}{\cos(\alpha)}; \quad R_\theta = \frac{\rho}{\sin(\alpha)}, \quad (5)$$

где R' – радиус оси ближайшего поворотного диска (R_1 , R_2 или R_3).

В процессе вытяжки металл претерпевает упрочнение.

При расчете деформаций в зависимости от рассчитанного поля напряжений будем руководствоваться следующими уравнениями:

– уравнение связи напряжений и деформаций, составленное в соответствии с диаграммами Мора [4, 5], которое при $\sigma_z \approx 0$ сводится к виду:

$$\frac{\sigma_\rho}{\sigma_\theta} = \frac{d\varepsilon_\rho - d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\theta - d\varepsilon_z}, \quad (6)$$

где $d\varepsilon_\rho$, $d\varepsilon_\theta$, $d\varepsilon_z$ – приращения деформаций, соответственно, в меридиональном, широтном направлениях, а также перпендикулярно срединной поверхности заготовки;

– закон сохранения объема:

$$\frac{\ell \cdot S \cdot \rho}{\ell_0 \cdot S_0 \cdot \rho_0} = 1, \quad (7)$$

где ℓ_0 , S_0 , ρ_0 , ℓ , S , ρ – длина, толщина и радиус элемента до и после деформации;

– уравнение связи приращения радиуса элемента с приращением его длины (из геометрических соображений):

$$\Delta\rho = \Delta\rho_{\max} - \Delta\ell \cdot \sin(\alpha) - \Delta\rho_\ell, \quad (8)$$

где $\Delta\rho$ – действительное изменение радиуса рассматриваемого элемента;

$\Delta\rho_{\max}$ – изменение радиуса рассматриваемого элемента без учета удлинения;

$\Delta\ell$ – изменение длины рассматриваемого элемента;

$\Delta\rho_\ell$ – изменение радиуса элемента за счет удлинения предыдущих элементов.

Приращения относительных деформаций $d\varepsilon_\rho$, $d\varepsilon_\theta$, $d\varepsilon_z$ в соответствии с [3] можно заменить отношением соответствующего приращения к соответствующему параметру:

$$d\varepsilon_\rho = \frac{d\ell}{\ell}; \quad d\varepsilon_\theta = \frac{d\rho}{\rho}; \quad d\varepsilon_Z = \frac{dS}{S}. \quad (9)$$

На основании выражений (6)–(9) строим алгоритм расчета деформаций, основываясь на рассчитанном поле напряжений и геометрических размерах штампа и исходной заготовки.

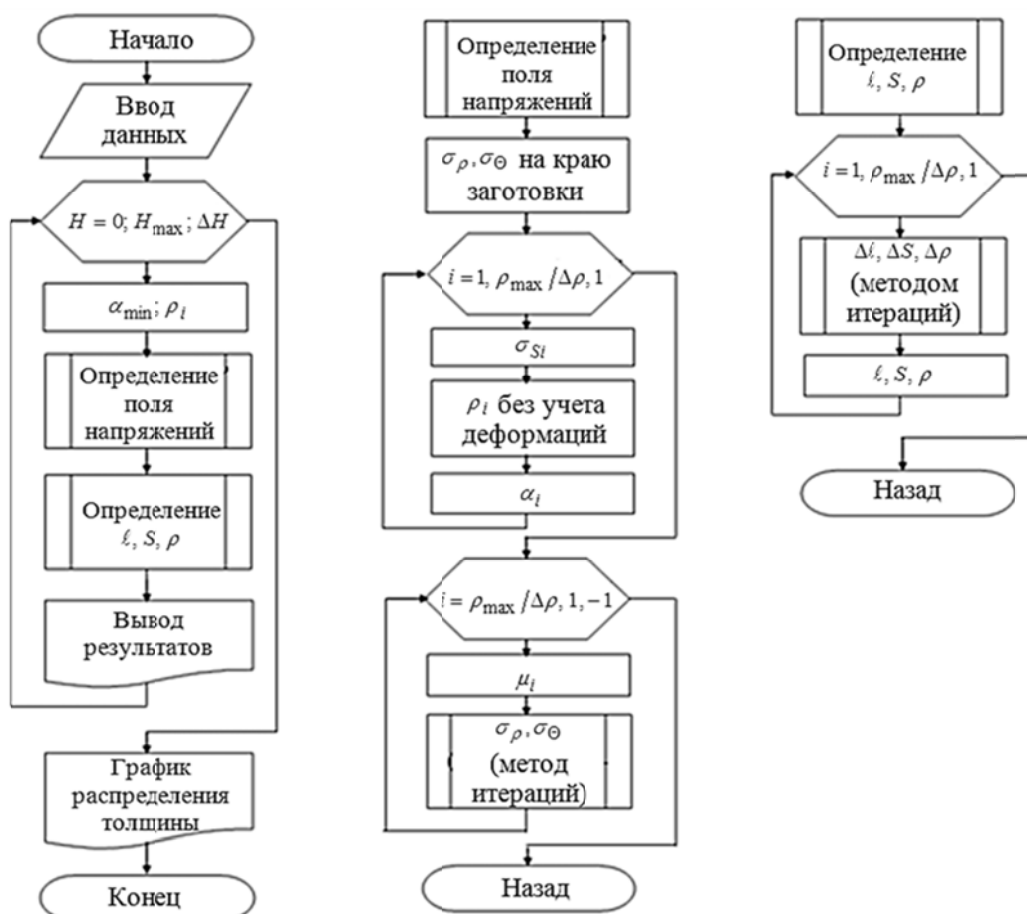


Рис. 1. Блок-схема расчета распределения толщины заготовки

Алгоритм расчета процесса деформации основывается на следующем:

- процесс гофрирования разбивается на n шагов по высоте опускания прижима H :

$$n = \frac{H}{\Delta H}, \quad (10)$$

где ΔH – шаг изменения высоты прижима;

- заготовка разбивается на $\rho_{\max} / \Delta\rho$ элементов, для каждого из которых рассчитываются деформации;
- в приведенных выражениях все приращения d заменяются на Δ ;
- поле напряжений на определенном i шаге, рассчитывается приближенно по данным деформаций, полученных на $i-1$ шаге, но с учетом формообразования, т.е. перемещения рассматриваемого элемента без учета его деформации на данном шаге гофрирования;
- расчет геометрических параметров заготовки ведется поэлементно, начиная от центра заготовки, а поля напряжений – от края заготовки, причем радиальное напряжение на краю заготовки под прижимом определится как [3]:

$$\sigma_{кр.з.} = \frac{\mu Q}{\pi \rho_{\max} S}, \quad (11)$$

где Q – усилие прижима;

ρ_{\max} – диаметр заготовки на данном шаге гофрирования;

– на определенном шаге гофрирования определяется угол α_{\min} , затем все геометрические параметры определяются в зависимости от него;

– поле напряжений и деформаций определяется методом итераций с предварительно задаваемой точностью;

– коэффициент трения μ определяется поэлементно, в зависимости от соотношения площадей подвижной и неподвижной частей на данном радиусе.

Таким образом, определены основные принципы построения алгоритма расчета распределения толщины в процессе гофрирования. Блок-схема для расчета деформаций в соответствии с этим показана на рис. 2.



Рис. 2. Результаты расчета: ● – измеренные; ○ – расчетные данные

Отметим, что результаты такого расчета послужат исходными данными для расчета непосредственно процесса вытяжки.

ВЫВОДЫ

Разработан алгоритм расчета распределения толщины заготовки в процессе гофрирования в штампе с поворотными дисками. Данный алгоритм позволяет вносить корректировки при появлении дополнительных условий (изменение формы и диаметра исходной заготовки, количества поворотных дисков и др.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко Т. Б. Двухплоскостное перемещение инструмента при глубокой вытяжке с волочением осесимметричных деталей / Т. Б. Коробко, Г. И. Майоров // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ-Хмельницький. – 2002. – С. 30–32.
2. Коробко Т. Б. Анализ напряженно-деформированного состояния при получении кольцеобразного гофра на заготовке под вытяжку / Т. Б. Коробко, Г. И. Майоров // Металургическая и горнорудная промышленность : сб. науч. тр. – 2002. – № 8, 9. – С. 499–504.
3. Коробко Т. Б. К расчету распределения толщины в процессе гофрирования осесимметричных деталей / Т. Б. Коробко, Г. И. Майоров, В. А. Луценко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ, 2003. – С. 395–399.
4. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки : учебное пособие для вузов / Е. А. Попов. – [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с., ил.
5. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. Изд. – [изд. 4-е, перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с., ил.

Коробко Т. Б. – канд. техн. наук, доцент ДонГТУ;

Козачишен В. А. – канд. техн. наук, доцент ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: korobko.tamara@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 16.01.2012 г.