

Выводы

Разработана комплексная математическая модель формоизменения полосы в четырехвалковых системах, которая позволяет выполнять количественный анализ различных аспектов процесса тонколистовой прокатки, в том числе влияния соотношения упругих деформаций на профиль поперечного сечения и плоскостность прокатываемых полос, а также эффекта самовыравнивания вытяжек по ширине полосы.

Список литературы

1. Бельский, С.М. Управление противоизгибом в клетях с осевой сдвижкой рабочих валков / С.М.Бельский, Б.А. Поляков, В.А. Третьяков // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 1992. – № 6. – С.15-17.
2. Бельский, С.М. Расчёт распределения усилия прокатки по ширине полосы и остаточных напряжений в полосе вариационным методом / С.М.Бельский, С.Л. Коцарь, Б.А. Поляков // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 1990. – № 10. – С.32-34.
3. Пыженков В.И. Развитие методов расчета упругих деформаций валков станов кварто. Диссертация ... канд. техн. наук. – Москва. МИСиС. – 1975. – 280 с.

Математическая модель расчета распределения толщины металла при штамповке в матрицах с многосекционными поворотными дисками

к.т.н. доц. Коробко Т.Б., Козачишена Е.С.

Донбасский Государственный Технический Университет

+380-50-0269136

korobko.tamara@rambler.ru

Анотация. В данной статье предложена математическая модель расчета распределения толщины изделия при вытяжке осесимметричных деталей в штампе с многосекционными поворотными дисками для коррекции технологических параметров процесса. Модель является ансамблем, включающим закономерности напряженно-деформируемого состояния, геометрические соотношения и алгоритм аппроксимации. Для решения сформулированной задачи был использован метод Эйлера, позволяющий определять параметры следующего шага интегрирования, основываясь на результатах предыдущего. Предложенный алгоритм позволяет оперативно вносить корректировки при появлении дополнительных условий и может быть рекомендован для расчета параметров технологического процесса.

Ключевые слова: математическая модель, штамп с поворотными дисками, вытяжка, параметры процесса, аппроксимация.

В настоящее время процессы глубокой вытяжки при получении осесимметричных изделий из листовых материалов осуществляются с применением цельнометаллических матриц. Формоизменение в них происходит путем превращения плоской заготовки в полое изделие, а допустимая степень деформации ограничивается коэффициентом вытяжки. Процесс сопровождается гофрообразованием фланца заготовки, но наличие в штампе прижима позволяет снизить его. Снижение коэффициента вытяжки ниже оптимальной величины приводит к тому, что процесс вытяжки не происходит, так как из-за большого трения между заготовкой и инструментом происходит разрыв.

Авторы работ [1, 2] рассматривали использование матриц с поворотными дисками (ПД), которые позволяют перераспределять деформации и повышают производительность процесса на 10 – 15 %. В предложенном нами штампе с поворотными дисками (рисунок 1) была произведена частичная замена трения скольжения заготовки о перетяжной радиус матрицы на трение качения. Конструкция штампа позволяет производить быструю замену средней части цельнометаллической матрицы на матрицу с ПД, а также производить замену поверхностей прижима и матрицы в зависимости от количества набираемого во фланец металла. Направление сил трения будет как и при обычной вытяжке, а на участках формируемых ПД

оно намного меньше. Штмп устанавливался на гидравлический пресс модели П 125, номинальным усилием 1,25 МН с гидравлическим торсионным типом силоизмерителя. Прижим осуществлялся кольцом, удерживаемым тремя подпружиненными шпильками, удаление полученных деталей производилось с помощью поршня. При лабораторных исследованиях использовались заготовки из следующих материалов: сталь 08 кп, латунь марки Л68, медь марки М2 и алюминий марки АЗ толщиной 1 мм и диаметром 87 мм.

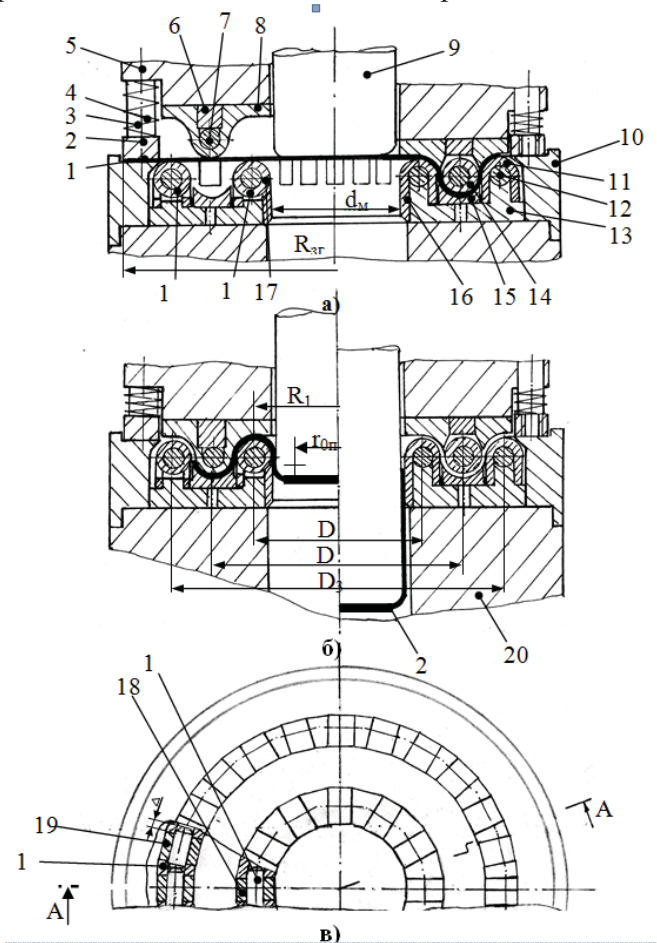


Рисунок 1. Продольный разрез штампа для глубокой вытяжки:

- 1 – заготовка; 2 – наружный прижим; 3 – пружина; 4 – винт;
 5 – верхняя плита; 6 – верхнее кольцо; 7, 12, 17 – ось; 8 – внутренний прижим; 9 – пуансон; 10 – матрицедержатель; 11 – вставка;
 13 – основание; 14, 18, 19 – поворотные диски; 15 – нижнее кольцо; 16 – матрица;
 20 – нижняя плита; 21 – изделие.

В процессе вытяжки фланец изделия утолщается, это накладывает определенные требования на распределение деформации при вытяжке, так как вытягиваемая заготовка зажата между двумя поверхностями матрицы и прижима. Изменение конфигурации поверхностей прижима и матрицы [3, 4] позволяет существенно изменить условия трения на контакте. Это вызывает необходимость построения математической модели процесса глубокой вытяжки в штампах с поворотными дисками (ПД) из предварительно гофрированных заготовок, которая бы позволила выявить опасное сечение и определить возможность устранения потери устойчивости в нем. 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.

Работа [5] содержит анализ напряженно-деформированного состояния металла на стадии гофрирования. Предложенные выражения громоздки и усложняют модель.

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:

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

Для определения деформаций воспользуемся законом сохранения объема в виде:

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

где $R_{\zeta\bar{a}}$ – радиус исходной заготовки;

S_0 – исходная толщина заготовки;

$F(R_{\bar{a}})$ – площадь поверхности гофра с наружным радиусом изделия $R_{\bar{a}}$;

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

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

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 $R_{\bar{a}}$:

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

где $L(R_{\bar{a}})$, ℓ – начальная и конечная длины огибающей срединной линии гофра радиусом $R_{\bar{a}}$.

Составляющую равновесия $\frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}$ определяют из уравнения связи напряжений и деформаций и закона сохранения объема [6]:

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

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.

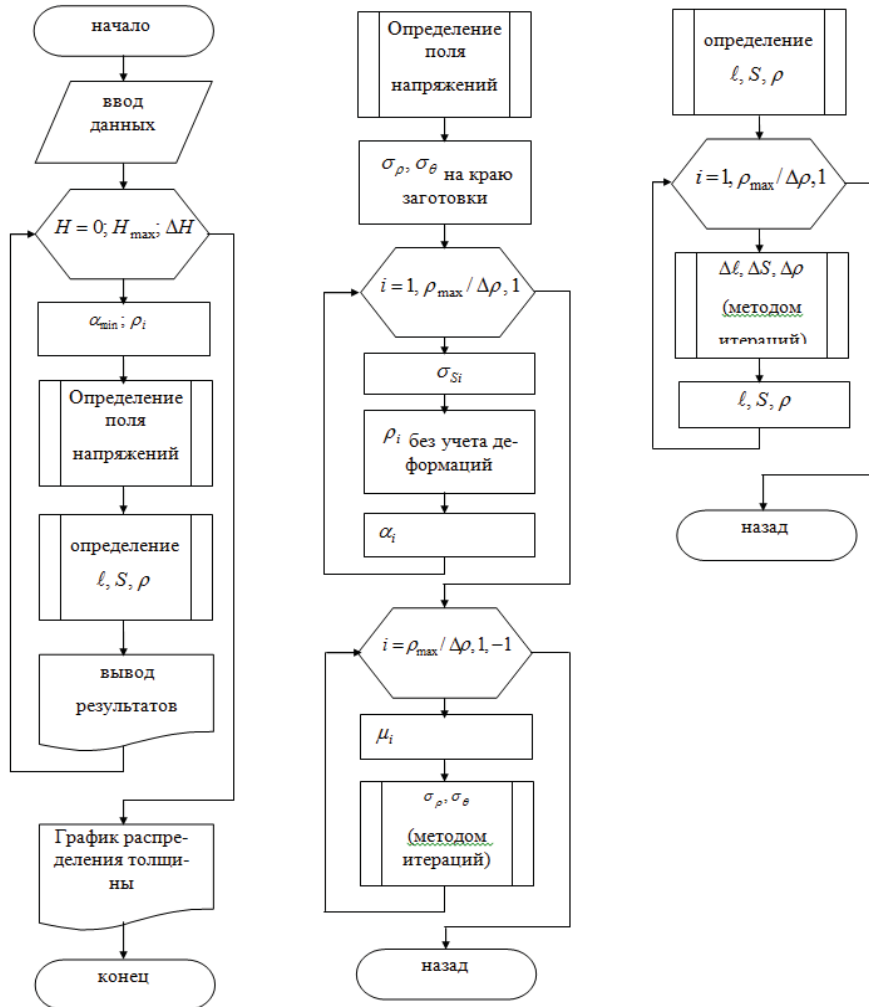


Рисунок 2. Блок-схема расчета распределения толщины заготовки

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

уравнение связи напряжений и деформаций, составленное в соответствии с диаграммами Мора [7, 8], 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 [6] 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.

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 [6]:

$$\sigma_{\text{кр.з.}} = \frac{\mu Q}{\pi \rho_{\max} S},$$

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 рисунк 2. Графики расчетных и опытных данных представлены на рисунке 3.

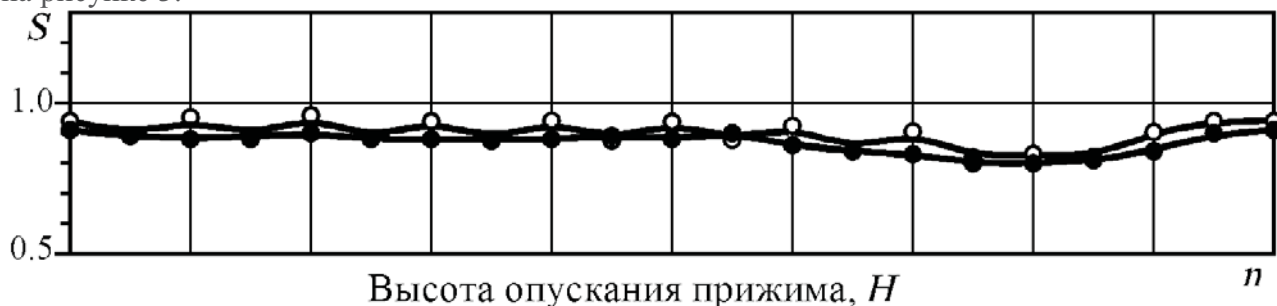


Рисунок 3. Результаты расчета: ● – опытные, ○ – расчетные данные

Отметим, что результаты такого расчета послужат исходными данными для расчета

непосредственно процесса вытяжки.

Выводы

В данной работе рассмотрены процессы глубокой вытяжки при получении осесимметричных изделий в матрицах с многосекционными поворотными дисками и разработан алгоритм расчета распределения толщины заготовки в процессе гофрирования. Заготовка разбивается на $\rho_{\max} / \Delta\rho$ элементов, для каждого из которых рассчитываются деформации, расчет геометрических параметров заготовки ведется поэлементно от центра заготовки, а поля напряжений – от края заготовки. Поле напряжений и деформаций определяется методом итераций с предварительно задаваемой точностью.

Предложенный алгоритм позволяет вносить корректировки при появлении дополнительных условий (изменение формы и диаметра исходной заготовки, количества поворотных дисков и др.) и может быть рекомендован для расчета параметров технологического процесса.

Литература

1. Штамп для глубокой вытяжки полых изделий с фланцем: А.с. 844102 СССР, МКИ В21D 22/20 В.И. Ларин (СССР). -№ 2824588/25-27; Заявлено 02.08.79; Оpubл. 07.07.81, Бюл. №25. - 3с.
2. Способ вытяжки полых изделий: А.с. 1286320 А1 СССР, МКИ В21D 22/20 А.Г. Кац, П.И. Харитонов (СССР). -№ 3806816/25-27; Заявлено 30.10.84; Оpubл. 30.01.87, Бюл. №4. -2с.
3. Спосіб глибокого витягування: Патент 47766 А Україна, МКІ В21D 22/23 Т.Б. Коробко, Д.Г. Майоров, Г.І. Майоров, В.О. Луценко (Україна). -№2001096196; Заявлений 10.09.2001; Оpubл. 15.07.2002, Бюл. №7. -2с.
4. Коробко Т.Б., Майоров Г.И., Митичкина Н.Г. Напряженно-деформированное состояние заготовки при гофрировании фланца для глубокой вытяжки.// Сборник научных трудов. Выпуск 14. –Алчевск: ДГМИ, 2001. –С. 317-321.
5. Коробко Т.Б., Майоров Г.И. Анализ напряженно-деформированного состояния при получении кольцеобразного гофра на заготовке под вытяжку// Металлургическая и горнорудная промышленность. – Сб. науч. тр. – 2002. №8,9. – С.499-504.
6. Коробко Т.Б., Майоров Г.И., Луценко В.А.К расчету распределения толщины в процессе гофрирования осесимметричных деталей// Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. наук. пр. – Краматорськ. – 2003. – С.395-399.
7. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки// Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1977. 278 с., ил.
8. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением// Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1977. 423 с., ил.

Анализ напряженного и деформированного состояния в элементарном объеме на примере процесса осадки

к.т.н. доц. Мамаев В.Б.

РГАТУ им. П. А. Соловьева

8 -961-025-41-31, vmamaev51@yandex.ru

Аннотация. Приведены основные положения и результаты анализа напряженного состояния в элементарном объеме, а также влияния таких технологических параметров, как коэффициент контактного трения и величина относительной деформации на результаты процесса осадки.

Ключевые слова: элементарный объем; напряженное состояние; условие пластичности; главные направления; траектории направлений; процессы осадки.

Существующие теоретические представления о напряженном и деформированном состоянии (по крайней мере, в области пластических деформаций, а точнее – упругопластиче-