

УДК 621.98.042

к.т.н. Коробко Т. Б.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, korobko.tamara@rambler.ru),
Рыбалко Е. М.
(компания ООО «Эл Си Ваикики Ритейл Бел»,
г. Минск, Республика Беларусь, ekaterina.rybalko@lcwaikiki.com)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ СО ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ НАГРУЖЕНИЕМ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В статье рассмотрена методика расчета процесса глубокой вытяжки предварительно гофрированных деталей в штампе с поворотными дисками (ПД) при использовании эффекта переменного нагружения с учетом трения для различных материалов.

Ключевые слова: штамп с многосекционными поворотными дисками, радиальная деформация, гофрирование, пуансон, матрица.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Основная задача процесса обработки металлов давлением состоит в максимальном приближении формы и размеров заготовки к форме и размерам готовых изделий при обеспечении необходимых физико-механических свойств.

Проблема повышения точности размеров и улучшения качества изделий при получении осесимметричных деталей глубокой вытяжкой оптимально решается за счет предварительного гофрирования исходной заготовки путем снижения трения между заготовкой и перетяжными радиусами пуансона и матрицы и ее знакопеременного нагружения в штампе с поворотными дисками (ПД) [1].

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка методики расчета технологического процесса глубокой вытяжки с учетом трения со знакопеременным нагружением осесимметричных деталей для различных материалов.

Изложение материала и его результаты. Применение способа гофрирования заготовки [2, 3] рационально, когда необходимую высоту изделия невозможно получить за переход в жестком штампе из-за значительной деформации стенки изделия.

Если в качестве исходного материала необходимо применять мягкие материалы (сталь 08кп, алюминий, медь, латунь), а относительная высота находится в пределах $0,8 < H/d < (1-1,5)$, то для их изготовления можно применять глубокую вытяжку в штампах с ПД. Это позволит снизить количество операций штамповки, а детальный анализ возможных вариантов технологического процесса штамповки позволит устанавливать условия технологичности в каждом конкретном случае.

По чертежу детали определяют материал, из которого она изготовлена, и его толщину. Затем рассчитывают диаметр [4].

Используя систему MathCAD, строим зависимости $R_{\text{заг}} = F(H, \alpha)$ (где $R_{\text{заг}}$ — радиус заготовки, H — высота изделия, α — угол контакта заготовки с инструментом) и по зависимостям, представленным на рисунках 1 и 2, предварительно определяем возможность получения $R_{\text{заг}}$ от α и $R_{\text{заг}}$ от H для используемых материалов. Полученные данные применяем для деталей с наружным диаметром d_m , которые отвечают требованиям процесса. Приняв величину угла $\alpha = 45^\circ$, определим глубину гофра и его основные параметры.

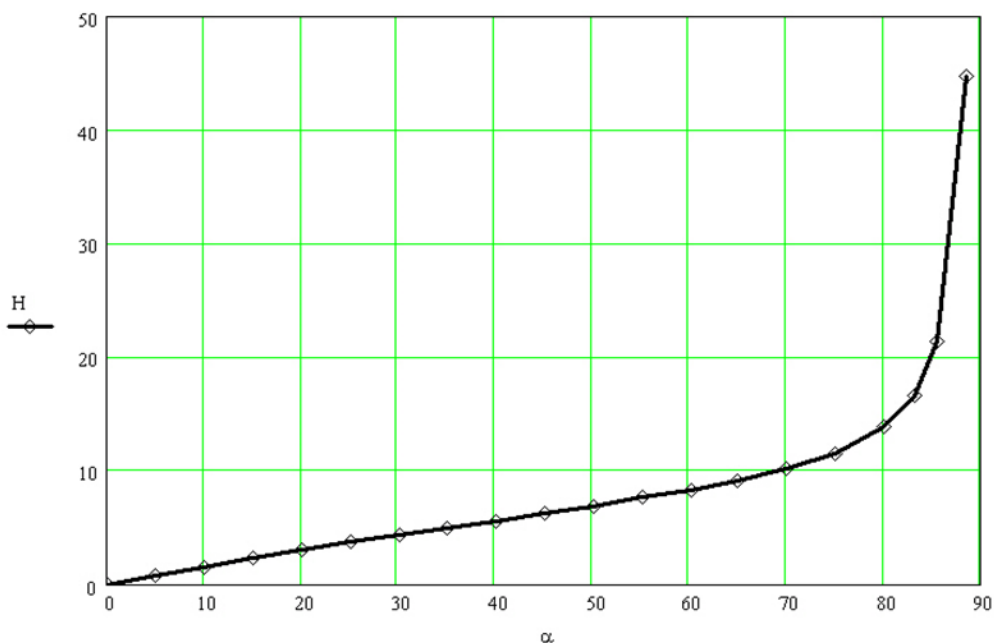


Рисунок 1 График зависимости высоты изделия Н (мм) от угла контакта α (град) заготовки с радиусом матрицы при вытяжке

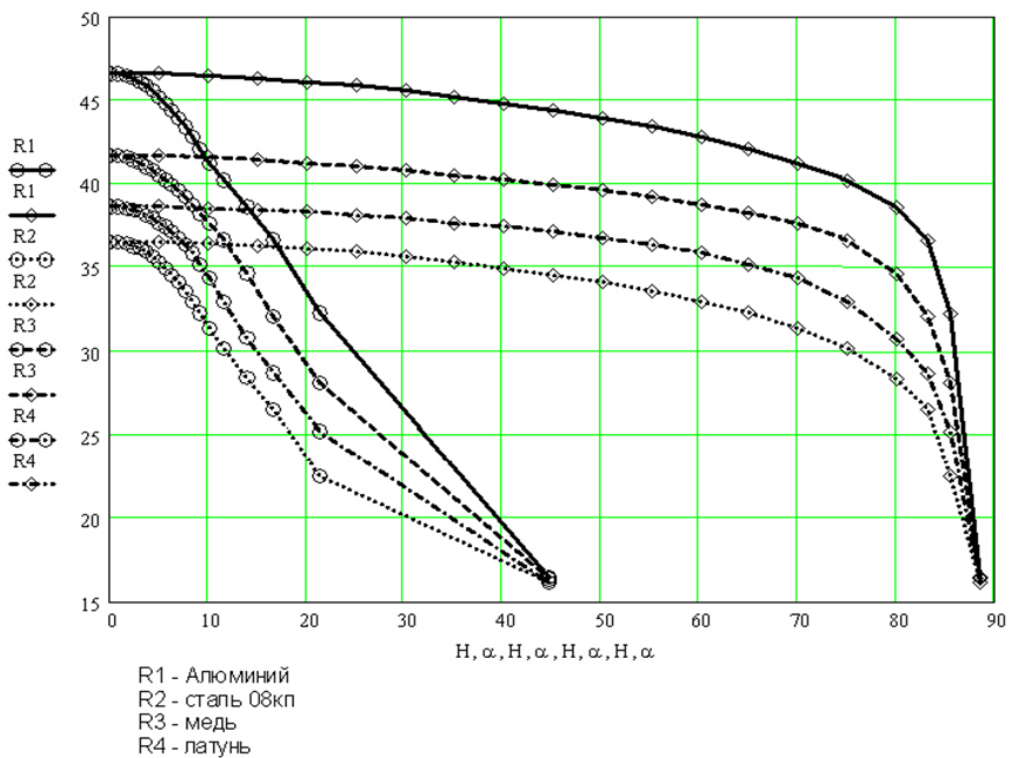


Рисунок 2 График зависимости внешнего радиуса фланца (мм) от угла контакта заготовки α (град) с инструментом и от высоты изделия Н (мм) в процессе вытяжки

Глубина формуемого гофра находится из выражения:

$$H_r = 2R_p(1 - \cos\alpha), \quad (1)$$

где R_p — радиус кривизны срединной поверхности элемента.

Тогда радиус кривизны срединной поверхности элемента в радиальном сечении будет равен:

$$R_p = r_n + 0,5s_0.$$

Находим значение радиуса матрицы r_m и выбираем значение радиуса поворотного диска r_n [5]. Диаметр первого ряда от оси штампа ПД $D_1 = 2 R_1$ определится как:

$$D_1 = (d_m + 2r_n). \quad (2)$$

Диаметр второго ряда, в котором располагаются ПД на прижиме, определим по формуле:

$$D_2 = 2[R_1 + (r_{n1} + r_{n2} + S_0) \sin \times \\ \times (\arccos(1 - H_r / (r_{n1} + r_{n2} + S_0)))], \quad (3)$$

где r_{n1} , r_{n2} — радиусы поворотных дисков первого и второго ряда;

S_0 — исходная толщина материала заготовки.

Диаметр, на котором располагается крайний ряд ПД, может быть найден из геометрических соображений:

$$D_3 = 2 D_2 - D_1. \quad (4)$$

Соотношение площадей поверхностей подвижных и неподвижных частей матрицы и прижима могут быть заменены соответствующими относительными длинами дуги кольцевого элемента, на котором рассчитывается условно усредненное значение коэффициента трения с использованием формул:

$$l_{ni} = K_i \cdot l_i / [2\pi \cdot (R_1 - r_n \sin\alpha)];$$

$$l_{ni} = 1 - l_{ni}.$$

Усредненный коэффициент трения μ_{1i} будет определен по формуле:

$$\mu_{1i} = (\mu_{ni} \cdot l_{ni} + \mu_n \cdot l_n) / (l_{ni} + l_n).$$

Таким образом, произведен учет условий трения при его дифференцированном характере.

Величина гофрируемой части фланца определяется по формуле:

$$L(B) = L(R) - R_1, \quad (5)$$

где $L(R)$ — длина развертки гофра от оси штампа.

Длина одного поворотного диска будет определяться как:

$$l_{ni} = K_i \cdot l_i / [2\pi \cdot (R_{1i} - r_n \sin\alpha)],$$

где K_i — количество ПД на перетяжном радиусе матрицы,

l_i — длина ПД с учетом погрешности изготовления инструмента.

Количество поворотных дисков определим из выражения:

$$K_i \geq \frac{\pi (R_{1i} - r_n)}{l_i}. \quad (6)$$

Тогда, с учетом изложенного, условный усредненный коэффициент трения μ_{1i} будет определен по формуле:

$$\mu_{1i} = \mu_{ni} \cdot l_{ni} + \mu_n \cdot l_{ni}, \quad (7)$$

где $l_{ni} = l - l_{ni}$ — длина одного неповоротного элемента;

μ_{ni} , μ_n — коэффициент трения на поворотном диске и неповоротных элементах.

Таким образом, произведен учет условий трения при его дифференцированном характере. Радиус заготовки по размерам получаемого гофра найдем из выражения:

$$R_z = \sqrt[3]{\frac{l \cdot F}{\pi}}, \quad (8)$$

где l — длина огибающей срединной линии гофра радиусом R_r ;

F — площадь поверхности гофра с наружным радиусом изделия R_r .

Напряжение течения σ_s определим, используя работу [6]:

$$\sigma_s = A - E \cdot e^{-\varepsilon_i} - G \cdot e^{-N\varepsilon_i}, \quad (9)$$

где A, E, G — коэффициенты применяемого металла,

N — число, определяемое методом итераций.

Величину деформации определим по формулам:

$$\varepsilon_{\theta}(\rho) = \ln\left(\frac{\rho}{L(\rho)}\right);$$

$$\varepsilon_z(\rho) = -\varepsilon_{\rho}(\rho) - \varepsilon_{\theta}(\rho);$$

$$\varepsilon_{\rho}(\rho) = -\varepsilon_{\theta}(\rho) \frac{\sigma_{\theta}(\rho) + 2 \cdot \sigma_{\rho}(\rho)}{\sigma_{\rho}(\rho) + 2 \cdot \sigma_{\theta}(\rho)}.$$

Математическая модель анализа напряженно-деформированного состояния металла в процессе вытяжки с предварительным гофрированием в штампе с поворотными дисками приведена в работе [5]. В этой модели отсутствует начальная стадия вытяжки, но это не вносит в расчет большой погрешности, хотя значительно упрощает поставленную задачу.

Величина $\varepsilon_{i\text{кр}}$ определяется в зависимости от показателя напряженно-деформированного состояния m^* , равного отношению радиального и тангенциального напряжений [4, 5]:

при $0,5 \leq m^* \leq 1$

$$\varepsilon_{i\text{кр}} = \frac{2 \cdot \sqrt{1 - m^* + m^{*2}}}{2 - m^*} \cdot n;$$

при $-\infty \leq m^* \leq 0,5$

$$\varepsilon_{i\text{кр}} = \frac{2 \cdot \sqrt{1 - m^* + m^{*2}}}{1 + m^*} \cdot n.$$

Радиальные и тангенциальные напряжения могут быть найдены путем сов-

местного решения системы уравнений равновесия и условия пластичности численным способом:

$$\rho \cdot \frac{d\sigma_{\rho}}{d\rho} + \sigma_{\rho} \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_{\theta} \pm F(\mu, \rho, \alpha, \sigma_{\rho}, \sigma_{\theta}) = 0,$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{\rho} - \sigma_{\theta})^2 + \sigma_{\rho}^2 + \sigma_{\theta}^2} = \beta \cdot \sigma_s. \quad (10)$$

Тогда, зная показатель напряженно-деформированного состояния при вытяжке m^* и показатель упрочнения n , определим $\varepsilon_{i\text{кр}}$ для операции вытяжки.

Знакопеременное нагружение в процессе вытяжки позволяет получать увеличение радиальной деформации. Величину немонотонной критической интенсивности деформаций в опасном сечении при вытяжке будем определять по формуле:

$$\varepsilon_{i\text{кр}}^* = \varepsilon_{i\text{кр}} + \Delta\varepsilon, \quad (11)$$

где $\Delta\varepsilon$ — величина деформации после гофрирования.

Значения параметров $\varepsilon_{i\text{кр}}^*$ для исследуемых материалов приведены в таблице 1.

Технологическое усилие вытяжки определим с учетом усилия противодействия:

$$P_{\text{max}} = \pi \cdot (d_m - S_0) \cdot S_0 \cdot \sigma_{\rho\text{max}} + P_{\text{прот}}, \quad (12)$$

где $P_{\text{прот}}$ — усилие противодействия,

$$P_{\text{прот}} = q_1 F_M,$$

где q_1 — давление жидкости в матрице;
 F_M — площадь сечения очка матрицы.

Таблица 1

Значения параметров $\varepsilon_{i\text{кр}}^*$ для различных материалов

Материал	δ_p	n	$\varepsilon_{i\text{кр}}$	$\Delta\varepsilon$	$\varepsilon_{i\text{кр}}^*$
Сталь 08кп	0,35	0,300	0,574	0,062	0,636
Латунь Л68	0,32	0,278	0,502	0,032	0,534
Медь М2	0,28	0,262	0,482	0,038	0,520
Алюминий А3	0,27	0,260	0,511	0,042	0,553

Выводы и направление дальнейших исследований.

В статье разработана методика расчета технологического процесса вытяжки со

знакопеременным нагружением осесимметричных деталей, изготовленных из различных материалов с учетом трения и напряженно-деформированного состояния.

Библиографический список

1. Пат. 47766 А Україна, МКІ В21D 22/23. Спосіб глибокого витягування / Т. Б. Коробко, Д. Г. Майоров, Г. І. Майоров, В. О. Луценко; Донбасс. гос. техн. ун-т. — №2001096196; заявл. 10.09.2001; опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7. — 2 с.
2. Майоров, Г. И. Особенности построения математической модели для гофрирования осесимметричных заготовок в штампе с поворотными дисками [Текст] / Т. Б. Коробко, Д. Г. Майоров, В. А. Луценко // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. — Краматорськ, 2004. — С. 377–380.
3. Майоров, Г. И. Математическая модель глубокой вытяжки в штампах с поворотными дисками из предварительно гофрированных заготовок [Текст] / Т. Б. Коробко, Д. Г. Майоров, Н. Г. Митичкина // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. — Краматорськ, 2004. — С. 251–256.
4. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. — 520 с.
5. Майоров, Г. И. Исследование влияния условий трения на качество вытягиваемых изделий в матрице с поворотными дисками [Текст] / Т. Б. Коробко, Д. Г. Майоров // Сб. науч. тр. — Алчевск : ДГМИ, 2002. — Выпуск 16. — С. 165–168.

© Коробко Т. Б.

© Рыбалко Е. М.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,
пом. нач. сортопрокатного цеха ПАО «АМК» Чичканом А. А.**

Статья поступила в редакцию 17.10.17.

к.т.н. Коробко Т. Б. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, korobko.tamara@rambler.ru), **Рыбалко К. М.** (компанія ТОВ «Ел Сі Ваїкікі Рітейл Бел», м. Мінськ, Республіка Білорусь, ekaterina.rybalko@lcwaikiki.com)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГЛИБОКОГО ВИТЯГУВАННЯ ІЗ ЗНАКОЗМІННИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

У статті розглянуто методику розрахунку глибокого витягування попередньо гофрованих деталей в штампі з поворотними дисками (ПД) при використанні ефекту змінного навантаження з урахуванням тертя для різних матеріалів.

Ключові слова: штамп з багатосекційними поворотними дисками, радіальна деформація, гофрування, пуансон, матриця.

PhD Korobko T. B. (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Rybalko E. M.** (LLC "Al Si Waikiki Retail Bel", Minsk, Republic of Belarus)

CALCULATING METHOD FOR TECHNOLOGICAL PROCESS OF DEEP DRAWING WITH ALTERNATING LOADING OF AXISMETRIC DETAILS

The procedure for calculating the process of deep drawing of pre-corrugated parts in a stamp with rotary disks (RD) is considered using the effect of variable loading taking friction into account for various materials.

Key words: stamp with multi-section rotary disks, radial deformation, corrugation, punch, matrix.