

*Е. П. СМЕЛЯКОВ*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ КАЛИБРОВКИ ФЛАНЦА ПРИ ВЫТЯЖКЕ СО СКЛАДКООБРАЗОВАНИЕМ

За последние годы в технической литературе появился ряд работ [1, 2, 3], посвященных перспективам развития способов вытяжки деталей из листовых материалов со складкообразованием. Сущность таких способов заключается в следующем. Процесс вытяжки деталей происходит ступенями, каждая из которых состоит из двух стадий.

На I-й стадии вытяжка заготовки происходит с потерей устойчивости фланца, в результате чего на фланце возникают складки материала. Величина складок зависит от геометрических параметров вытяжки и свойств деформируемого материала заготовки.

Одновременно с образованием складок фланец, под действием изгибающего момента, изменяет свою форму из плоской в волнообразную коническую поверхность.

II-ая стадия представляет собой процесс калибровки фланца, при котором происходит выправка складок и восстановление плоской формы фланца. Как показали исследования, проведенные в отраслевой научно-исследовательской лаборатории обработки металлов давлением Куйбышевского авиационного института, этот способ вытяжки оказывается во многих случаях более экономичным, чем обычный, за счет уменьшения числа переходов.

При этом значительно улучшаются и качественные показатели готовых деталей — чистота поверхности, равномерность деформации. Несомненная перспективность новых способов вытяжки заставляет специалистов в области холодной штам-

повки всесторонне проводить исследования, раскрывающие новые возможности. Одним из наиболее важных вопросов разработки технологии вытяжки, построенной на этом принципе является выбор необходимого усилия калибровки фланца.

В настоящей статье производится расчет данного параметра вытяжки теоретическим путем. В качестве исходного положения примем, что любая из образовавшихся на фланце складок имеет цилиндрическую форму. При этом предположении величина усилия будет несколько завышена, т. к. в действительности форма складки представляет собой коническую поверхность. Однако избыток усилия используется полезно — на более жесткую калибровку фланца.

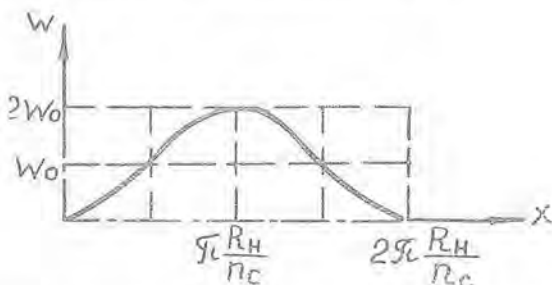
Вычислим длину развертки гофра на наружном краю фланца при  $R=R_{II}$  (фиг. 1). Уравнение развернутого края фланца выберем в виде

$$W = W_0 (1 - \cos n_c \theta). \quad (1)$$

где  $W_0$  — половина высоты складки при  $R = R_{II}$ ;

$n_c$  — количество образовавшихся на фланце складок;

$\theta$  — центральный угол в плане-координата рассматриваемой складки от выбранной оси.



Фиг. 1. Схема развернутого на вертикальную плоскость наружного края фланца (одной складки).

Координата  $x = R_{II} \cdot \theta$  или  $\theta = \frac{x}{R_{II}}$ ,

Центральный угол  $\theta = \frac{2\pi}{n_c}$ ;  $x = R_{II} \cdot \frac{2\pi}{n_c}$ .

Для удобства определения длины складку разобьем на четыре участка одинаковой кривизны, при этом пределы из-

менения функции будут  $0$  и  $\frac{\pi R_{II}}{2n_c}$ ; при определении же всей длины развертки полученную величину увеличим в четыре раза. Длина развернутой на вертикальную плоскость линии

$$L = \int_0^{x_0} \sqrt{1 + (W')^2} dx.$$

В нашем случае для развернутой складки по наружному краю фланца

$$L = 4 \int_0^{\frac{\pi R_{II}}{2n_c}} \sqrt{1 + (W')^2} dx.$$

$$W' = \frac{n_c W_0}{R_{II}} \cdot \sin \frac{n_c}{R_{II}} x;$$

$$L = 4 \int_0^{\frac{\pi R_{II}}{2n_c}} \sqrt{1 + \left(\frac{n_c W_0}{R_{II}}\right)^2 \sin^2 \frac{n_c}{R_{II}} x} dx.$$

Положим  $\frac{n_c}{R_{II}} x = t$ ;  $dx = \frac{R_{II}}{n_c} dt$ ; при  $x = 0$ ;  $t = 0$  при  $x = \frac{\pi R_{II}}{2n_c}$ ;  $t = \frac{\pi}{2}$ .

$$\text{Теперь } L = \frac{4R_{II}}{n_c} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{n_c W_0}{R_{II}}\right)^2 \sin^2 t} dt.$$

Решая приближенно интеграл, имеем

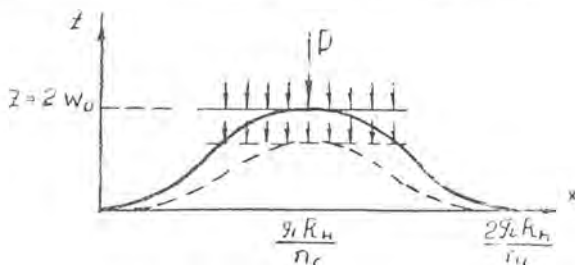
$$L = \frac{4R_{II}}{n_c} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{n_c W_0}{R_{II}}\right)^2 \sin^2 t\right] dt = \frac{4R_{II}}{n_c} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{n_c W_0}{R_{II}}\right)^2 (1 - \cos 2t)\right] dt = \frac{4R_{II}}{n_c} \cdot \frac{\pi}{2} \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{n_c W_0}{R_{II}}\right)^2\right].$$

$$\text{или окончательно } L = \frac{\pi}{2} \left(\frac{4R_{II}}{n_c} + \frac{n_c W_0^2}{R_{II}}\right).$$

Длина развертки складки с любой высотой —  $z$ ;

$$L_i = \frac{\pi}{2} \left(\frac{4R_{II}}{n_c} + \frac{n_c z^2}{4R_{II}}\right).$$

Усилие выправки складки определится из условия равенства работы внешних и внутренних сил (фиг. 2).



Фиг. 2. Схема для определения усилия выправки складки.

$$dA_{\text{внеш.}} = dA_{\text{внутр.}} \quad (2)$$

Работа внешних сил —  $dA_{\text{внеш.}} = P \cdot dz$ .

Работа внутренних сил —  $dA_{\text{внутр.}} = \sigma \cdot s_0 (R_n - R_b) dL$

где  $R_b$  — радиус «очка» матрицы плюс радиус закругления вытяжной кромки матрицы;

$\sigma$  — напряжения, возникающие в складке от действия внешней силы  $P$ ;

$s_0$  — исходная толщина материала заготовки.

$$dL = \frac{\pi n_c}{4 R_n} \cdot z \cdot dz.$$

Подставляя значения элементарных работ в уравнение (2), находим величину внешней силы, необходимой для выправки складки:

$$P = \frac{\pi \cdot s_0 (R_n - R_b) n_c}{4 R_n} \cdot \sigma \cdot z = \frac{\pi s_0 \cdot n_c}{4} \left(1 - \frac{R_b}{R_n}\right) \cdot \sigma \cdot z. \quad (3)$$

Выразим зависимость напряжений от деформаций в виде функции

$$\sigma = A \cdot \varepsilon^m,$$

где  $\varepsilon$  — деформация сжатия.

$$\varepsilon = \frac{L_0 - L}{L}. \quad (4)$$

$m$  — показатель степени;

$A$  — модуль упрочнения.

При использовании кривых упрочнения I рода

$$m = \frac{\bar{\sigma}_p}{1 - \bar{\sigma}_p} = \psi_p, \quad A = \frac{\sigma_b}{(1 - m)^{1-m} m^m}$$

Начальная длина края фланца до складкообразования, приходящаяся на образование одной складки

$$L_0 = \frac{2\pi \cdot R_0}{n_c},$$

где  $R_0$  — радиус исходной заготовки.

Подставляя значения  $L_0$  и  $L$  в уравнение (4), имеем:

$$\varepsilon = \frac{\frac{2\pi R_0}{n_c}}{\frac{\pi}{2} \left( \frac{4R_{II}}{n_c} + \frac{n_c L^2}{4R_{II}} \right)} - 1 = \frac{1}{\frac{R_{II}}{R_0} + \frac{n_c^2 L^2}{16R_{II} R_0}} - 1$$

или  $\varepsilon \approx \frac{R_0}{R_{II}} - 1$  (погрешность не более 4%).

Теперь уравнение (3) можно представить в виде:

$$P = A \cdot \frac{\pi n_c}{4} \cdot s_0 \left( 1 - \frac{R_b}{R_{II}} \right) \left( \frac{R_0}{R_{II}} - 1 \right)^m \cdot z.$$

Для проектирования устройств, создающих калибровочное усилие, важно знать максимальное значение силы. Оно будет при выправке складок высотой  $z \approx 2W_0$ , т. е.

$$P_{\max} = A \cdot \frac{\pi n_c}{2} \cdot s_0 W_0 \left( 1 - \frac{R_b}{R_{II}} \right) \left( \frac{R_0}{R_{II}} - 1 \right)^m, \quad (5)$$

Из анализа условий устойчивости формы складки при калибровке установлено [5], что  $\frac{W_0}{s_0} \approx 4\sqrt{m}$  или  $W_0 \approx 4s_0\sqrt{m}$ . Подставляя в уравнение (5) значения  $W_0$  и  $A$ , запишем усилие выправки складок всего фланца:

$$P_1 = \sigma_b \cdot s_0^2 \cdot n_c^2 \frac{2\pi \cdot m^{\frac{1}{2}}}{(1 - m)^{1-m} \cdot m^m} \left( 1 - \frac{k}{\rho} \right) \left( \frac{1}{\rho} - 1 \right)^m, \quad (6)$$

где  $k = \frac{R_b}{R_0}$ ;  $\rho = \frac{R_{II}}{R_0}$ .

При рассмотрении процесса калибровки фланца было отмечено, что помимо выправки складок происходит и восстановление плоской формы фланца. Для проведения математического анализа представим, что усилие калибровки со-

стоит из усилий выправки складок —  $P_1$  и восстановления формы фланца —  $P_2$ . Последнее, создавая изгибающий момент относительно вытяжной кромки матрицы, пластически деформирует фланец и возвращает ему плоскую форму. Величину этого усилия можно найти из условия равенства внутреннего и внешнего изгибающих моментов.

Внутренний изгибающий момент определим следующим образом. Предположим, что деформирование элементов заготовки, перемещающихся по вытяжной кромке матрицы, аналогично изгибу широкой полосы с упрочнением. Принимаем в первом приближении, что толщина материала в процессе деформирования остается постоянной, а радиус нейтральной поверхности напряжений совпадает с радиусом срединной поверхности — при этом степень деформации в зонах растяжения и сжатия принимается по абсолютной величине одинаковой (фиг 3). Изгибающий момент, возникаю-

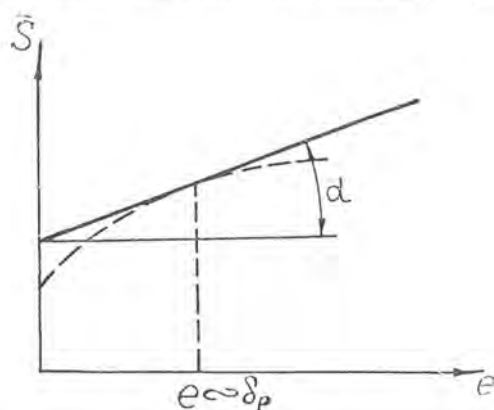


Фиг. 3. Схема для определения  $M_{\text{внутр.}}$  возникающего при вытяжке во фланце заготовки.

щий в процессе вытяжки в любом сечении материала в районе вытяжной кромки матрицы на единичной длине заготовки равен:

$$dM_{\text{внутр.}} = \int_{-\frac{s_0}{2}}^{\frac{s_0}{2}} \sigma_z \cdot z \cdot dz = \int_0^{\frac{s_0}{2}} \sigma_2 \cdot z \cdot dz + \int_0^{\frac{s_0}{2}} \sigma_1 \cdot z \cdot dz. \quad (7)$$

Для определения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  при изгибе с упрочнением воспользуемся диаграммой истинных напряжений, экстраполированной по линейному закону (фиг. 4). Количественная



Фиг. 4. Экстраполяция диаграммы истинных напряжений по линейному закону.

сторона упрочнения материала оценивается коэффициентом упрочнения, который имеет размерность напряжения и равен [4]:

$$K_{\delta_p} = \operatorname{tg} \alpha = \left. \frac{dS}{de} \right|_{\delta_p} = \frac{S_b}{1 - \delta_p} = \sigma_p.$$

Индексы  $S_b$  и  $\delta_p$  показывают, что вывод формулы производился для степени деформации, равной предельной равномерной деформации при одноосном растяжении.

Так как принятая диаграмма истинных напряжений выражает линейную зависимость, то можно написать для любой степени деформации уравнение:

$$S - S_b = \frac{S_b}{1 + \delta_p} (\delta - \delta_p).$$

Перенос  $S_b$  из левой части в правую и делая преобразования, получим:

$$S = S_b \frac{1 + \delta}{1 + \delta_p}. \quad (8)$$

Если принять во внимание, что способы вытяжки со складкообразованием относятся к дискретным процессам, то деформирование заготовки за каждый импульс (кроме первых 2—3) производится из предварительно наклепанного материала, поэтому  $\delta_p$  материала в каждый отдельный момент времени будет неодинаковым. Для учета получающегося при этом изменения величины  $\delta_p$  используем соотношения, рекомендованные д. т. н. Зайцевым Г. П. [4].

Для зоны I — растяжение  $\delta_{p1} = \frac{\delta_{p0} - \delta_{np}}{1 + \delta_{np}}$ ,

где  $\delta_{p0}$  — равномерное удлинение при растяжении образцов из несклепанного материала;

$\delta_{\text{пр}}$  — равномерное удлинение при растяжении образцов из наклепанного материала.

$$\text{Для зоны II — сжатие } \delta_{\rho_2} = \frac{\delta_{\rho_0} + \delta_{\text{пр}}}{1 - \delta_{\text{пр}}}.$$

Подставляя приведенные соотношения в формулу (8), можно записать:

$$\sigma_1 = -S_b \frac{(1 + \delta_{\text{пр}})(1 + \delta)}{1 + \delta_{\rho_0}}; \text{ аналогично } \sigma_2 = S_b \frac{(1 - \delta_{\text{пр}})(1 + \delta)}{1 + \delta_{\rho_0}}.$$

Относительное удлинение в тангенциальном направлении

$$\delta = \frac{z}{\rho_\tau},$$

где  $\rho_\tau = r_m + \frac{s_0}{2}$  — радиус кривизны нейтрального слоя;

$z$  — расстояние рассматриваемой точки до нейтрального слоя.

Определив все необходимые соотношения правой части формулы (7), определяем изгибающий момент:

$$\begin{aligned} dM_{\text{внутр.}} &= \int_0^{-\frac{s_0}{2}} S_b \frac{(1 + \delta_{\text{пр}})(1 + \delta)}{1 + \delta_{\rho_0}} \cdot z \cdot dz + \int_0^{\frac{s_0}{2}} S_a \frac{(1 + \delta)(1 - \delta_{\text{пр}})}{1 + \delta_{\rho_0}} \times \\ &\times z \cdot dz = \frac{2S_b}{1 + \delta_{\rho_0}} \int_0^{\frac{s_0}{2}} \left(1 + \frac{z}{\rho_\tau}\right) \cdot z \cdot dz = \frac{2S_b}{1 + \delta_{\rho_0}} \left[ \frac{1}{2} \left(\frac{s_0}{2}\right)^2 + \right. \\ &\left. + \frac{1}{3} \left(\frac{s_0}{2}\right)^3 \cdot \frac{1}{\rho_\tau} \right] = \frac{S_b}{1 + \delta_{\rho_0}} \left[ \left(\frac{s_0}{2}\right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{s_0}{2}\right)^3 \cdot \frac{1}{\rho_\tau} \right] \end{aligned}$$

или, принимая во внимание, что  $\frac{S_b}{1 + \delta_{\rho_0}} = \sigma_b$ , получим

$$dM_{\text{внутр.}} = \sigma_a \left[ \left(\frac{s_0}{2}\right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{s_0}{2}\right)^3 \frac{1}{\rho_\tau} \right].$$

Замечая, что изгибающий момент распределен по внутренней кромке матрицы с  $R = R_a$ , можно написать:

$$M_{\text{внутр}} = 2\pi R_a \sigma_a \left[ \left(\frac{s_0}{2}\right)^2 + \frac{2}{3 \left(r_m + \frac{s_0}{2}\right)} \cdot \left(\frac{s_0}{2}\right)^3 \right],$$

или окончательно



$$M_{\text{внутр.}} = \frac{\pi R_0 \cdot \sigma_0 \cdot s_0^2}{2} \left[ 1 + \frac{s_0}{3 \left( r_m + \frac{s_0}{2} \right)} \right]. \quad (9)$$

Внешний изгибающий момент определим из условия, что сила  $P_2$  прикладывается в среднем сечении кольцевой части фланца, т. е. на расстоянии  $\frac{R_{\text{II}} - R_0}{2}$  от центра заготовки.

Такое предположение вполне допустимо, т. к. угол подъема фланца при вытяжке за единичный импульс составляет  $2-3^\circ$ , а экстремальное значение усилия калибровки приходится на практически уже плоский фланец. Таким образом,

$$M_{\text{внеш}} = P_2 \frac{R_{\text{II}} - R_0}{2}. \quad (10)$$

Приравнивая значения моментов (9) и (10) и вводя величины  $k = \frac{R_0}{R_{\text{II}}}$  и  $\rho = \frac{R_{\text{II}}}{R_0}$ , определим усилие восстановления формы фланца  $P_2$ .

$$P_2 = \sigma_0 \cdot s_0^2 \pi \cdot \frac{k}{\rho - k} \left[ 1 + \frac{2}{3 \left( \frac{2r_m}{s_0} + 1 \right)} \right].$$

Обозначим  $1 + \frac{2}{3 \left( \frac{2r_m}{s_0} + 1 \right)} = b$ .

Полагая, что практически  $S \leq \frac{r_m}{s_0} \leq 10$ , можно определить пределы изменения выражения « $b$ »:  $1,032 \leq b \leq 1,06$ . Принимая  $b \approx 1,06$ , окончательно имеем:

$$P_2 = 1,06 \pi \sigma_0 \cdot s_0^2 \frac{k}{\rho - k}. \quad (11)$$

Усилие калибровки фланца —  $P_{\text{ф}} = P_1 + P_2$  или

$$P_{\text{ф}} = 1,06 \pi \sigma_0 \cdot s_0^2 \left\{ \frac{k}{\rho - k} + \frac{1,89 \cdot n_c^2 m^{\frac{1}{2}}}{(1-m)^{1-m} m^m} \left( 1 - \frac{k}{\rho} \right) \left( \frac{1}{\rho} - 1 \right)^m \right\}. \quad (12)$$

Для нахождения максимального значения усилия калибровки исследуем полученное уравнение. Заметим, что на изменение  $P_{\text{ф}}$  влияет выражение, заключенное в фигурных скобках, поэтому определим из него значение параметра  $\rho$  соответствующее максимальному усилию калибровки  $P_{\text{ф. max}}$ .

Обозначим  $y = \frac{k}{p-k} + \xi \left(1 - \frac{k}{p}\right) \left(\frac{1}{p} - 1\right)^m$ ,

где  $\xi = \frac{1,89 n_c^2 m^{\frac{1}{2}}}{(1-m)^{1-m} m^m}$ .

Далее положим  $\frac{1}{p} = x$ , тогда  $y = \frac{kx}{1-kx} + \xi (1-kx) (x-1)^m$ .

Для нахождения экстремального (наибольшего) значения  $x$  от последнего выражения возьмем производную:

$$y = \frac{k}{(1-kx)^2} - \xi (x-1)^m \left[ k - m \frac{1-kx}{x-1} \right] = 0 \quad (13)$$

При решении уравнения (13) получается ряд корней, из которых интересующие нас лежат в пределах  $x_0 < x < \frac{1}{k}$ .

Предел  $x_0$  определяется из условия получения второго слагаемого положительным или решения  $k - m \frac{1-kx_0}{x_0-1} = 0$ .

Откуда  $x_0 = \frac{m+k}{k(1+m)}$ .

Предел  $\frac{1}{k}$  определяется из условия калибровки края фланца в конце вытяжки.

Для получения экстремального значения  $P_\Phi$  необходимо найти для данного материала наименьший корень уравнения (13) и подставить его значение в уравнение (12).

Нужно сказать, что нахождение  $P_{\Phi \max}$  для различных материалов представляет собой весьма трудоемкий процесс, поэтому для облегчения расчетов используем результаты экспериментального исследования характера изменения этого параметра в зависимости от сокращения фланца заготовки. Измерение усилия калибровки в процессе вытяжки показало, что наибольшая его величина приходится на конечную стадию процесса, когда количество складок и нагартовка материала фланца увеличивается. На основе анализа формул (6), (11) и результатов экспериментов характер изменения усилия выправки складок —  $P_1$  и усилия восстановления формы фланца —  $P_2$  можно представить в виде графических функций, изображенных на фиг. 5.

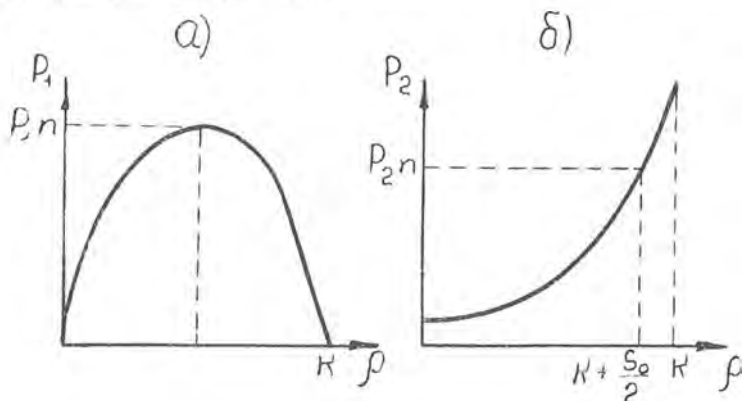
Гарантированное усилие калибровки фланца при этом будет:

$$P_\Phi = P_{1n} + P_{2n}.$$

Экстремальное значение  $P_{1n}$  определяем из исследования уравнения (6).

Обозначим выражение  $(1 - \frac{k}{\rho})(\frac{1}{\rho} - 1)^m = y$ , а величину  $\frac{1}{\rho} = x$ .

Тогда  $y = (1 - kx)(x - 1)^m$ .



Фиг. 5. Графики изменения усилия выправки складок а и усилия восстановления плоской формы фланца б.

Для определения значения  $x$ , при котором  $P_1 = P_{1n}$  берем производную от последнего выражения и приравняем ее нулю. Из полученного таким образом уравнения определяем необходимое значение  $x$ .

$$y' = -k(x-1)^m + (1-kx) \cdot m(x-1)^{m-1} = (x-1)^{m-1}(m - mkx - kx + k) = 0,$$

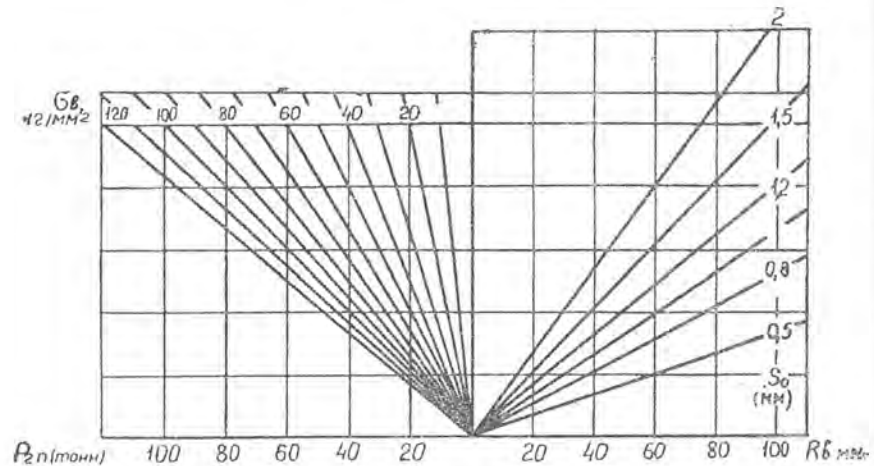
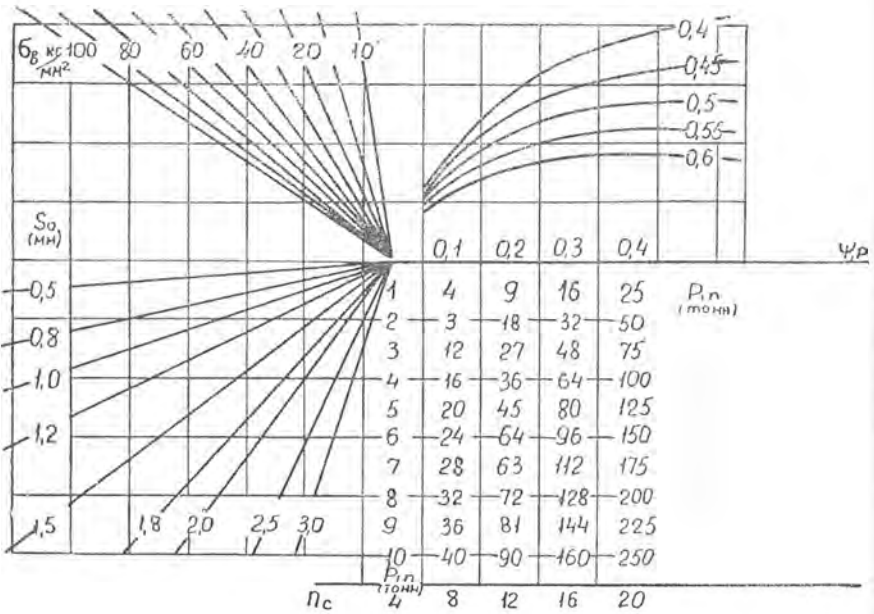
$$m - mkx - kx + k = 0, \text{ откуда } x = \frac{m+k}{k(1+m)}.$$

Подставляя значения  $x$  в уравнение (6), получим:

$$P_{1n} = \sigma_b \cdot s_0^2 \cdot n_c^2 \frac{2\pi \cdot m^{\frac{1}{2}}}{(1-m)^{1-m} (1+m)^{1+m}} (1-k) \left(\frac{1}{k} - 1\right)^m. \quad (14)$$

Значение  $P_{2n}$  определим путем подстановки в уравнение (11)  $\rho = k + \frac{\bar{S}_0}{2}$ ; где  $\bar{S}_0 = \frac{s_0}{R_0}$ . Данное значение  $\rho$  соответствует предпоследнему импульсу, когда калибровке подвергается кромка фланца.

$$P_{2n} = 2 \cdot 1,06 \cdot \pi \cdot \sigma_b \cdot s_0^2 \frac{k}{\bar{S}_0} \text{ или } R_{2n} = 6,7 \sigma_b \cdot s_0 \cdot R_0. \quad (15)$$



Фиг. 6. Номограммы определения значения  $P_{1n}$  а и  $P_{2n}$  б.

В практике для облегчения расчетов по полученным формулам можно пользоваться номограммами, позволяющими определять значения  $P_{1n}$  и  $P_{2n}$  для различных исходных данных (фиг. 6).

Для практической проверки построенных номограмм были проведены эксперименты по пульсирующей вытяжке со складкообразованием деталей типа «стакан»  $d=50$  мм из материала Д16АМ, толщиной 1,2 мм с коэффициентом вытяжки  $K=0,5$ . Усилие калибровки фланца заготовки определялось по номограммам для  $n_c=12$ . Оно составляло 21 т. Здесь необходимо заметить, что в процессе вытяжки на фланце систематически возникало четыре складки материала, однако в самом конце процесса (при  $\rho=0,65-0,62$ ) из-за неравномерности нагартовки фланца их количество возросло до 12. Именно такое количество складок и принималось во внимание при расчете усилия калибровки. Методика проверки эффективности расчетного усилия заключалась в следующем. В процессе выполнения соответствующей стадии каждой ступени вытяжки фланец подвергался калибровке усилием расчетной величины. Давление калибровочной плиты создавалось при помощи гидравлики; величина нагружения контролировалась образцовым манометром. После выполнения серии импульсов — 10 ступеней (глубина вытяжки за одну ступень составляла 0,5—0,6 мм) фланец подвергался визуальному осмотру, при котором особое внимание уделялось качеству калибровки. При этом проверялась качественность правки складок, отсутствие искривления плоскости фланца, наличие подчеканки района «посадки» складок, равномерность нагартовки фланца и др.

Изучение перечисленного комплекса особенностей выполнения калибровки позволило сделать вывод, что использование при выполнении данной стадии процесса рекомендаций, полученных на основе теоретического анализа, обеспечит разработку качественного техпроцесса.

В процессе проведения экспериментального исследования изучалась также возможность выполнения данной стадии процесса при значениях  $P_{\phi} < P_{\phi \text{ расчетн}}$ . Однако эффективность калибровки резко снижалась. Например, при снижении  $P_{\phi}$  на 10% против расчетного калибровка фланца происходит без заметного отклонения от нормального процесса. Однако в этом случае можно было наблюдать образование складок последующего импульса в местах выправки складок текущего импульса. Это явление показывает, что выправка

складок происходит все же неполностью — без подчеканки. Систематическое же образование складок в зонах «интенсивного» наклепа, появляющихся в результате выправки складок предыдущих импульсов, отрицательно сказывается на прочности материала фланца в этих местах — возникают трещины и разрывы поверхностных слоев металла.

## ВЫВОДЫ

1. На основании теоретического анализа механизма калибровки фланца при вытяжке со складкообразованием получена формула, позволяющая определить соответствующее усилие для выполнения данной стадии процесса.

2. Для практической разработки технологических процессов, основанных на использовании способов вытяжки со складкообразованием, построены номограммы.

3. Экспериментально доказано, что рассчитанное по номограммам усилие калибровки фланца обеспечивает нормальное протекание процесса вытяжки со складкообразованием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Сапаровский, Е. П. Смеляков, Установка для вытяжки полых деталей на листоштамповочном воздушном молоте. Кузнечно-штамповочное производство, № 4, 1963.

2. Е. С. Сизов. Авторское свидетельство № 101055, класс 7С, 15 гр. за 1953 г.

3. А. Н. Громова, Е. С. Сизов. Проблемы механизации заготовительно-штамповочных работ. Сб. № 3, 1961.

4. Г. П. Зайцев. К вопросу о становлении констант пластичности и прочности металлов. Физика металлов и металловедение, АН СССР, том V, вып. 2, 1957.

5. Е. П. Смеляков, С. В. Сапаровский, И. И. Калужский. Исследование процесса пульсирующей вытяжки со складкообразованием. Сб. трудов КуАИ, вып. XX, ч. 2, Куйбышев, 1964.