

ПОВЫШЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВЫТЯЖКИ ТОНКОЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШТАМПЕ С УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ (ПРИЖИМОМ)

2007 И. П. Попов, Е. С. Нестеренко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Исследован процесс осесимметричной вытяжки тонколистового материала в штампе с упругим прижимом, прилегающим по всей поверхности фланца. Предложенный способ вытяжки позволяет повысить предельный коэффициент вытяжки материала.

Анализ справочника [1] и приведенных в нем опытных данных показывает, что при вытяжке тонкостенных листовых материалов с уменьшением относительной толщины заготовки на первом переходе коэффициент вытяжки уменьшается до 20 %.

Так как в процессе вытяжки краевая часть фланца получает увеличение толщины, причем наиболее интенсивно вблизи края заготовки (при вытяжке тонколистового материала разнотолщинность фланца достигает 30 % [1]), то усилие прижима распределяется по узкой кольцевой части фланца, граничащей с наружным краем заготовки. Следовательно, площадь контакта прижима с фланцем заготовки мала, и для ликвидации гофрообразования необходимо увеличивать силу прижима, что приводит к увеличению сил трения, росту напряжений в опасном сечении и преждевременному разрыву заготовки при прочих равных условиях.

Результаты опытов показали, что при вытяжке относительно тонкостенных заготовок ($\frac{S}{D} < 0,006$) в случае, если прижим рас-

пределяется не по кромке фланца, как в традиционном случае, а по всей его поверхности в процессе вытяжки, коэффициент вытяжки увеличивается. Это явление объясняется тем, что при таком условии вытяжки требуется меньшее давление прижима, устраняющее гофрообразование.

На кафедре обработки металлов давлением Самарского государственного аэрокосмического университета конструктивная возможность проведения вытяжки с прижимом, прилегающим по всей поверхности фланца, выявлена с помощью использования упругих свойств штамповой оснастки: прижима, выполненного в виде кольца переменного сечения, обеспечивающего упругие перемещения, которые позволяют прижать фланец заготов-

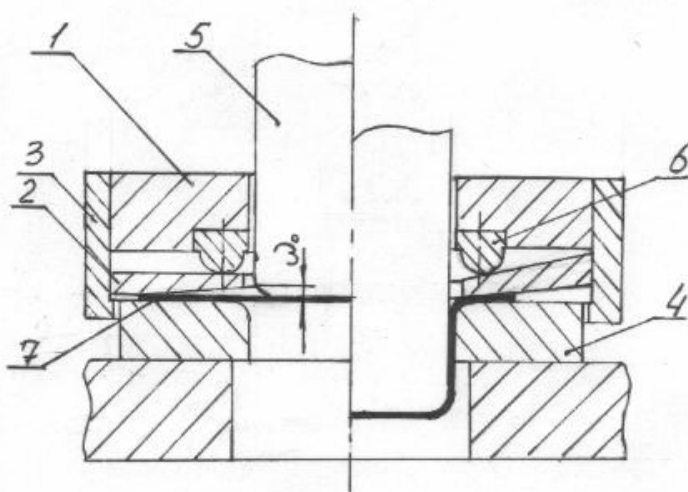


Рис. 1. Конструкция штампа для вытяжки тонколистового материала с использованием упругого прижима:
1 - кольцо опорное; 2 - прижим упругий;
3 - обойма; 4 - матрица; 5 - пуансон;
6 - выступ кольцевой; 7 - заготовка

ки с необходимым давлением по всей его поверхности [3]. На рис. 1 представлена конструкция штампа.

Усилие на прижим передается через кольцевой выступ б, который расположен по внутреннему радиусу прижима 2. В процессе вытяжки под действием усилия прижим будет упруго деформироваться. Величина упругого перемещения ограничена упругими свойствами материала, которые должны превышать максимальную величину разнотолщинности на фланце.

Найдем максимальные растягивающие напряжения при использовании жесткого и упругого прижимов без учета изменения толщины заготовки.

Максимальные растягивающие напряжения с учетом упрочнения, силы прижима, изгиба и трения на кромке матрицы равны [2, 4]:

$$\sigma_{r \max} = \sigma_s \left[\left(\frac{K_B^{2y_u} - 1}{2y_u} \right)^{\frac{1}{1-y_u}} + F_{mp} + \frac{t}{2r_M + t} \right] (1 + 1,6 f_{mp}), \quad (1)$$

где $F_{mp,ж} = \frac{f_{mp} Q}{p R_H t \sigma_s}$,

$$F_{mp,y} = \frac{2 f_{mp} Q}{p (R_H + r_o) \cdot t \sigma_s}.$$

Здесь $\sigma_{r \max}$ – максимальное растягивающее напряжение; Q – усилие прижима; $F_{mp,ж}, F_{mp,y}$ – сила трения для жесткого и упругого прижимов, соответственно; K_B – коэффициент вытяжки; y_u – относительное сужение; t – толщина заготовки, r_M – радиус матрицы; f_{mp} – коэффициент трения; σ_s – предел прочности материала; R_H – начальный радиус заготовки; r_o – радиус детали.

Построим зависимость $\sigma_{r \max}$ от K_B при условиях: $t = 0,5$ мм; $r_o = 50$ мм; $\sigma_s = 400$ кН/мм²; $r_M = 5$ мм; $y_u = 0,13$; $f_{mp} = 0,15$; $Q = 100$ кН (рис. 2) и определим предельное значение K_B из условия: $\sigma_{r \max} \leq \sigma_s$ [2].

Из графика видно, что максимальные значения напряжений несколько выше при использовании упругого прижима и предельный K_B при упругом прижиме равен 1,82, а при жестком – 1,85. Однако рассмотренные условия не учитывают механизма возможного гофрообразования и вследствие этого силу прижима.

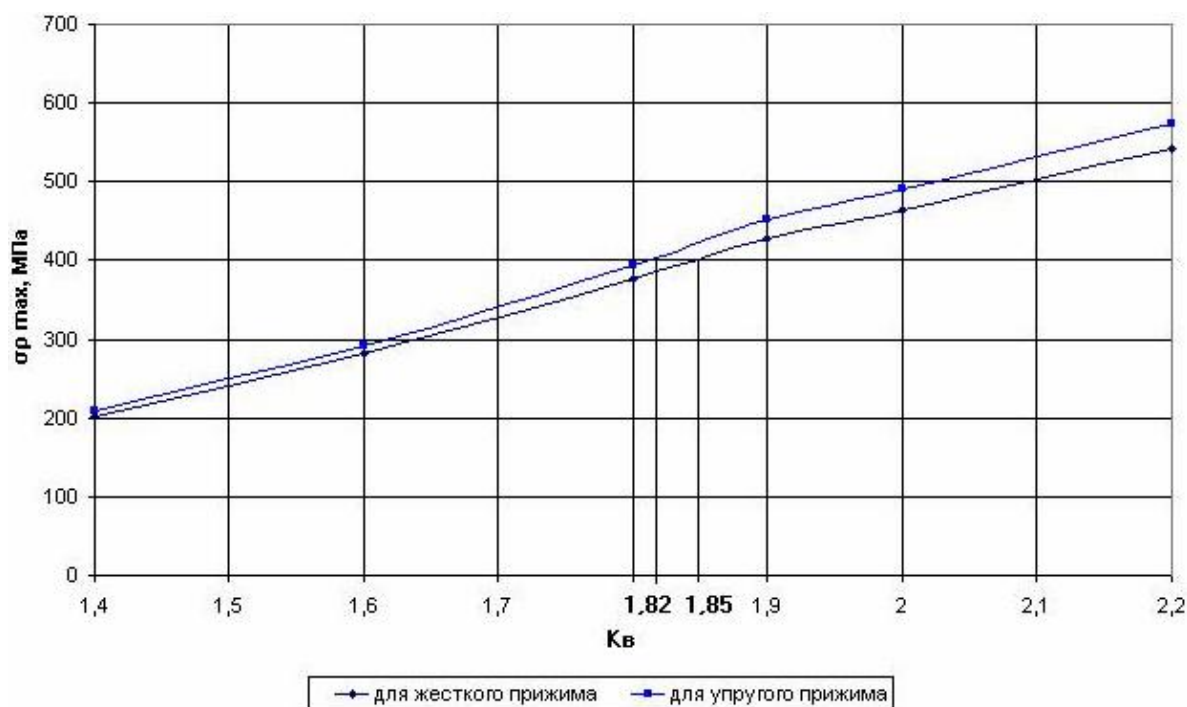


Рис. 2. Зависимость максимальных растягивающих напряжений от коэффициента вытяжки без учета возможного гофрообразования фланца

Определим усилия прижимов, необходимые для ликвидации гофр, по методике [5]. Исследования показали, что форма потери устойчивости зависит от условий прижима: в зависимости от усилия прижима Q , трения f и механических свойств материала фланец заготовки при использовании жесткого при-



Потеря устойчивости фланца заготовки при недостаточной силе прижима
а)

жима может иметь различную форму потери устойчивости. Рассмотрим два случая.

1. Если сила прижима Q очень мала и ее недостаточно для удержания волны, то под действием напряжений тангенциального сжатия происходит потеря устойчивости фланца заготовки и образование волнообразного гофра (рис. 3).

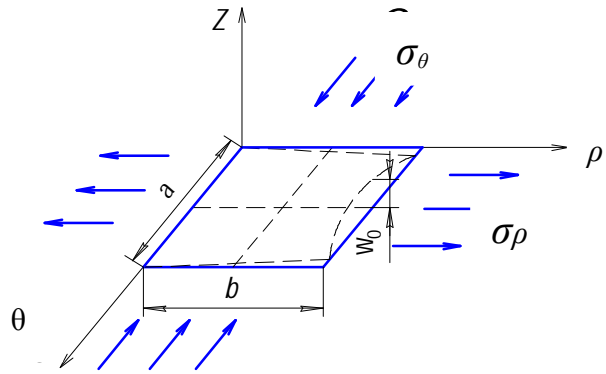


Схема вытучиваемого элемента фланца
б)

Рис. 3

2. Если силы прижима Q достаточно для удержания волны, то потеря устойчивости происходит (рис. 4), но гофр по высоте небольшой, он проходит в зазор между матрицей и пуансоном и при переходе через вы-

тяжное ребро матрицы выпрямляется. Однако для этого требуется дополнительная работа, что приводит к росту растягивающих напряжений, уменьшению K_B и ухудшению качества детали из-за появления рисок.



Потеря устойчивости фланца при достаточной силе прижима
а)

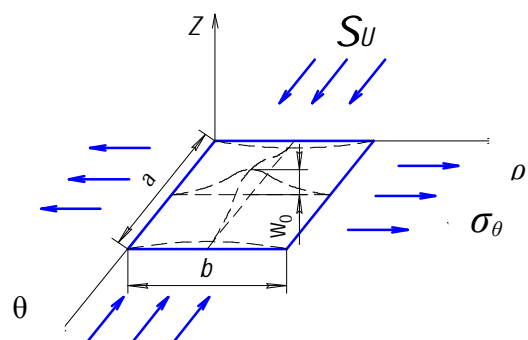


Схема вытучиваемого элемента фланца
б)

Рис. 4

Таким образом, механизм действия упругого прижима необходимо сравнивать со вторым случаем потери устойчивости при использовании жесткого прижима. Функцию прогиба для жесткого прижима запишем в виде [5]:

$$w = \frac{1}{2} w_0 \left[1 - \cos \left(2p \frac{r}{b} \right) \right] \sin \frac{p \cdot q}{a} \quad (2)$$

с граничными условиями:

при $r = b$, $q = a/2$, $\cos 2p = 1$, $w = 0$;

при $r = 0$, $q = a/2$, $\cos 0 = 1$, $w = 0$;

при $r = b/2$, $q = a/2$, $\cos p = -1$, $w = w_0 = \max$.

При упругом прижиме фланец теряет устойчивость, как показано на рис. 3, потому что сила прижима распределена по всей поверхности фланца. Функцию прогиба для упругого прижима запишем в виде [5]:

$$w = w_0 \left(1 - \cos \frac{p}{2} \cdot \frac{r}{b} \right) \sin \frac{p \cdot q}{a} \quad (3)$$

с граничными условиями:

при $r = b$, $q = a/2$, $\cos(p/2) = 0$, $w = w_0 = \max$;

при $r = 0$, $q = a/2$, $\cos 0 = 1$, $w = 0$.

Найдем усилие, необходимое для ликвидации гофрообразования, для чего воспользуемся энергетическим критерием устойчивости [5]:

$$U + (-A_q) = A, \quad (4)$$

где U – работа внутренних сил, A – работа контурных внешних сил, A_q – работа внешних сил прижима.

Уравнение критического состояния плоского участка фланца имеет вид:

$$\int_0^a \int_0^b \left[\frac{2}{3} E_p J \left(c_q^2 + c_q c_r + c_r^2 + c_{qr}^2 - \gamma \frac{c^2}{K_s} \right) + \frac{1}{2} t s_q (b w_q^2 + m_s w_r^2) \right] dr dq + \frac{w_0^2}{l} q = 0, \quad (5)$$

где q – параметр силы прижима, кН/мм;

C_r , C_q – кривизны срединной поверхности;

C_{rq} – кручение срединной поверхности; E_p –

модуль пластичности изотропного материала; J – момент инерции; w_q и w_r – частные производные функции прогибов по q и r , соответственно; a – длина полуволны; b – ширина фланца; l – длина криволинейной части фланца по средней линии на данной стадии

вытяжки; $\gamma = \frac{3}{4}(1-n)$, n – показатель упроч-

нения; $K_s = l - m_s + m_s^2$; $m_s = \frac{s_r}{s_q}$;

$$q = \frac{c}{w_0} Q_0 + \frac{1}{2} c^2 s; \quad (6)$$

Q_0 – усилие прижима, необходимое для ликвидации гофрообразования; s – жесткость прижима ($s = 0$, т. к. прижим пневматического типа); c – постоянная; w_0 – максимальная амплитуда полуволны.

Подставляя в уравнение (5) функции прогибов w для жесткого (2) и упругого (3) прижимов, находим необходимое усилие для ликвидации гофрообразования.

Для жесткого прижима $Q_{0(\text{жест})}$ равно

$$Q_{0(\text{жест})} = \frac{w_0}{c} \left[-\frac{p^2 l}{4a^2 b} \left(s_{qcp} t \frac{b^2}{2} N + \frac{8}{3} p^2 E_p J M \right) \right], \quad (7)$$

где N и M – переменные, зависящие от размеров выпучиваемого элемента фланца; s_{qcp} – величина сжимающих напряжений, которая находится как среднее значение сжимающих напряжений по наружному и внутреннему краям фланца.

Для упругого прижима $Q_{0(\text{упр})}$ равно

$$Q_{0(\text{упр})} = \frac{w_0}{c} \left[-\frac{p^2 l}{4a^2 b} \left(s_{qcp} t \cdot b^2 N + \frac{3}{4} p^2 E_p J M \right) \right], \quad (8)$$

Примем, что сила прижима воспринимается каждым из элементов в точке $u = a/2$; $v = b/2$. Для жесткого прижима $c = 2$, для упругого прижима $c = 0,586$. Значения усилия прижимов в момент достижения максимального усилия вытяжки представлены в табл. 1 при прочих равных условиях ($r_B = 50$ мм, $t = 0,5$ мм, $b = 1$, $n = 0,15$, $w_0 = 1$ мм).

Таблица 1. Значения усилий жесткого $Q_{o(жест)}$ и упругого $Q_{o(упр)}$ прижимов при различных коэффициентах вытяжки при максимальном значении усилия вытяжки

K_B	1,4	1,6	1,8	1,9	2	2,2
$Q_{o(жест)}, \text{кН}$	93	100	118	134	140	148
$Q_{o(упр)}, \text{кН}$	9	10	12	13	15	17

Из табл. 1 следует, что применение упругого прижима, необходимого для ликвидации гофрообразования, требует значительно меньшего усилия, чем при использовании жесткого прижима. Это приводит к уменьшению составляющей усилия трения на фланце и снижает напряжения в опасном сечении. Определим предельный K_B с подстановкой рассчитанных усилий прижима (табл. 1). Для этого построим зависимость $s_{r \max}$ от K_B при условиях: $t = 0,5 \text{ мм}$; $r_d = 50 \text{ мм}$; $s_g = 400 \text{ кН/мм}^2$; $r_M = 5 \text{ мм}$; $y_{ui} = 0,13$; $f_{mp} = 0,15$; $Q_{o(жест)} = 100 \text{ кН}$, $Q_{o(упр)} = 10 \text{ кН}$ (рис. 5).

Из рис. 5 следует, что предельный коэффициент вытяжки при использовании упругого прижима равен 2,01, а при использовании жесткого – 1,63.

Таким образом, результаты расчетов процесса вытяжки с упругим прижимом, прилагающим по всей поверхности фланца, показывают, что для тонкостенных заготовок с $\frac{S}{D} \leq 0,006$ можно использовать коэффициенты вытяжки на 20-30 % большие традиционных.

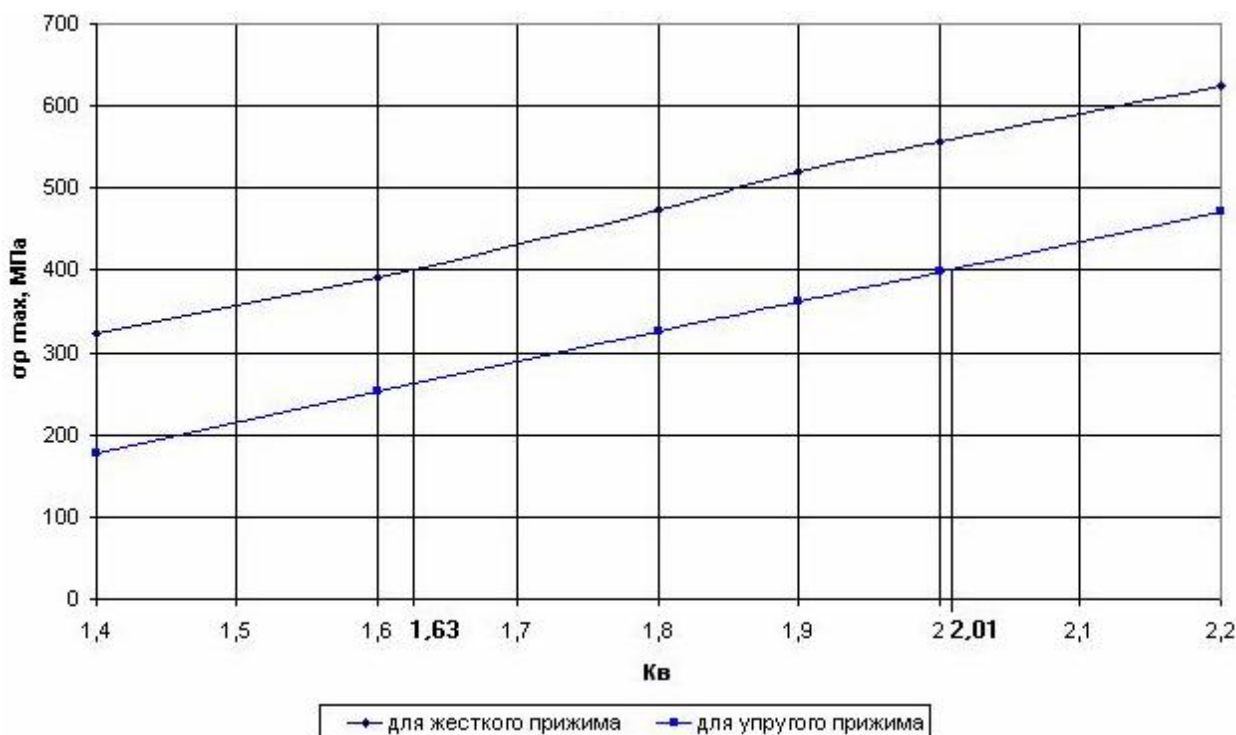


Рис. 5. Зависимость максимальных растягивающих напряжений от коэффициента вытяжки с учетом гофрообразования фланца

Список литературы

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – Л: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979.
2. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. – М: Машиностроение, 1977.
3. Авторское свидетельство 1400723, СССР, МКИ⁴ В 21 D 22/22, 24/04, Штамп для вытяжки.
4. Попов И.П. Разработка процессов листовой штамповки и методов их проектирования для деталей с заданными размерами по толщине. Докторск. дис. - 1994.
5. Головлев В. Д. Расчеты процессов листовой штамповки (Устойчивость формообразования тонкостенного металла). – М: Машиностроение, 1974.