

УДК.621.983.044

Розов Ю. Г.

ВЛИЯНИЕ «КРАЕВОГО ЭФФЕКТА» НА ОГРАНИЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ В СОВМЕЩЁННОМ ПРОЦЕССЕ ОБЖИМА-РАЗДАЧИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ПО УСЛОВИЮ ОБРАЗОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ СКЛАДОК

Анализ распространенных в современной промышленности технологических процессов листовой штамповки показывает, что одним из путей их интенсификации является повышение коэффициента предельного формоизменения за один переход. В то же время, некоторые вопросы, связанные с деформированием тонкостенных цилиндрических оболочек, в частности изучение механизмов и определение условий, ограничивающих процесс деформации, например, в связи с различными видами потери устойчивости заготовки, не достаточно изучены.

Определению предельных коэффициентов формоизменения в операциях листовой штамповки посвящено большое количество научных трудов [1–3]. В большинстве работ предлагаемые формулы для расчёта предельных коэффициентов формоизменения либо сложны в обращении и требуют хорошей математической подготовки [1], либо носят приближённый характер и не учитывают влияние ограничивающих деформацию факторов, присущих реальным условиям деформирования [2, 3].

Одним из таких факторов является так называемый «краевой эффект» [4], заключающийся в действии и влиянии на очаг деформации сил и моментов, возникающих в краевых сечениях (КС) деформируемой листовой заготовки (рис. 1), то есть в сечениях, граничащих с участками, нагруженными внешними силами в результате контакта с инструментом, рабочим столом прессы и т.п.

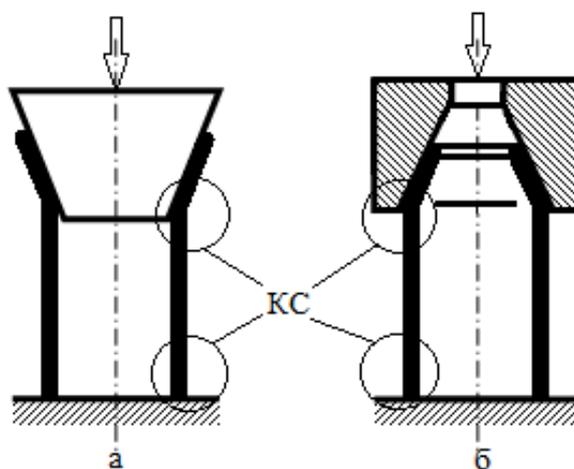


Рис. 1. Краевые сечения (КС) деформируемой трубной заготовки в операциях раздачи (а) и обжима (б)

Цель работы – определить опасное сечение и степень влияния на очаг деформации сил и моментов, возникающих в краевых сечениях деформируемой листовой заготовки в операциях обжима, раздачи и в совмещённом процессе обжима-раздачи трубных заготовок по условию образования кольцевых складок.

В работе [4] рассмотрено влияние «краевого эффекта» на процесс потери устойчивости с возникновением кольцевых (поперечных) волн (складок) на недеформируемых участках осесимметричных тонкостенных оболочек, ограничивающих степень деформации заготовок в операциях обжима и раздачи. Проведён анализ влияния изгибающего момента M на границе перехода элементов заготовки из участка свободного

изгиба в цилиндрический в результате контакта с инструментом (первый случай), а также влияние поперечных погонных сил Q в сечениях опорной поверхности заготовки в результате контакта с рабочим столом прессы (второй случай). Получены формулы для определения расстояния x_0 от краевого сечения до сечения, соответствующего нижнему экстремуму меридиональных напряжений:

– для первого случая:

$$x_0^M = \frac{\pi\sqrt{RS}}{\sqrt[4]{3(1-\nu^2)}} \quad (1)$$

– для второго случая:

$$x_0^Q = \frac{\pi\sqrt{RS}}{4\sqrt[4]{3(1-\nu^2)}} \quad (2)$$

где R, S – радиус срединной поверхности и толщина осесимметричной тонкостенной оболочки соответственно; ν – коэффициент Пуассона материала оболочки.

На основании полученных формул построена эпюра изменения вызванных действием краевых моментов меридиональных напряжений σ_ρ^{kp} вдоль оси трубной заготовки (рис. 2).

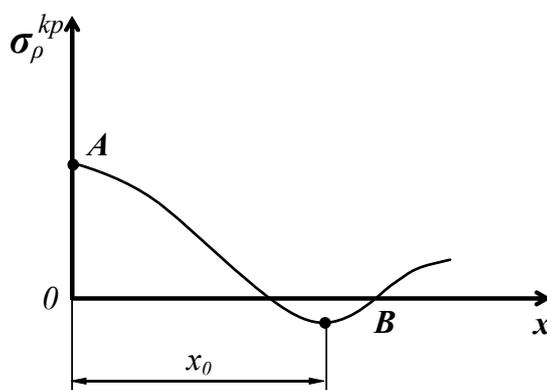


Рис. 2. Эпюра меридиональных напряжений вдоль оси трубной заготовки, вызванных действием краевых моментов

В краевом сечении заготовки (при $x=0$) меридиональные напряжения σ_ρ^{kp} , вызванные действием краевого изгибающего момента, будут максимальными (на эпюре – точка A , так называемый «верхний экстремум»). При удалении от края сечения меридиональные напряжения σ_ρ^{kp} быстро убывают, при этом, в некотором сечении их величина будет минимальна (точка B – «нижний экстремум»).

Таким образом, меридиональные напряжения σ_ρ^Σ , действующие в стенках деформируемой трубной заготовки на границе перехода элементов заготовки из участка свободного изгиба в цилиндрический, могут быть определены как алгебраическая сумма меридиональных напряжений, возникающих от действия сжимающих нагрузок $\sigma_{\rho max}$ и от действия краевых изгибающих моментов σ_ρ^{kp} :

$$\sigma_\rho^\Sigma = \sigma_{\rho max} \pm \sigma_\rho^{kp} \quad (3)$$

при этом в формуле (3) знак «+» справедлив для одноимённой схемы напряжённого состояния или для оболочки, имеющей одинаковый знак кривизны в меридиональном и широтном направлениях (обжим), а знак «-» – для разноимённой схемы напряжённого состояния или для оболочки, имеющей разный знак кривизны в меридиональном и широтном направлениях (раздача).

Анализ выражений для конечного соотношения сил и моментов [5], а также существующих формул для определения меридиональных напряжений в операциях обжима и раздачи [6], позволил сделать заключение, что при реальных условиях деформирования

($\alpha \leq 45^\circ$ – угол конусности; $\mu \leq 0,3$ – коэффициент трения; $k \leq 1,6$ – коэффициент формоизменения) меридиональные напряжения, образованные действием краевых изгибающих моментов, достигают 25% от максимальных меридиональных напряжений (верхний экстремум), действующих в стенках цилиндрического участка трубной заготовки. В то же время, на расстоянии x_0^M (формула (1)) от краевого сечения величина меридиональных напряжений по абсолютному значению составляет не более 2% от максимальных меридиональных напряжений (нижний экстремум).

Кроме того, меридиональные напряжения, возникающие от изгибающих моментов, образованных действием распределённых поперечных сил, достигают своего максимума в сечении заготовки на расстоянии x_0^Q (формула (2)) от опорной поверхности и составляют до 20% от максимальных меридиональных напряжений, действующих в стенках цилиндрического участка трубной заготовки.

Таким образом, в операциях листовой штамповки при деформировании трубной заготовки, для одноимённой схемы напряжённого состояния и для оболочки, имеющей одинаковый знак кривизны в меридиональном и широтном направлениях, (например, обжим), максимальное влияние изгибающего краевого момента на очаг деформации наблюдается в сечении, расположенном непосредственно в месте сопряжения деформируемой и недеформируемой частей заготовки. Для разноимённой схемы напряжённого состояния или для оболочки, имеющей разный знак кривизны в меридиональном и широтном направлениях, (например, раздача), такое сечение располагается на некотором расстоянии от очага деформации, определяемом формулой (1). Указанные сечения являются наиболее неблагоприятными с точки зрения возникновения в них кольцевых складок в процессе деформирования (рис. 3).

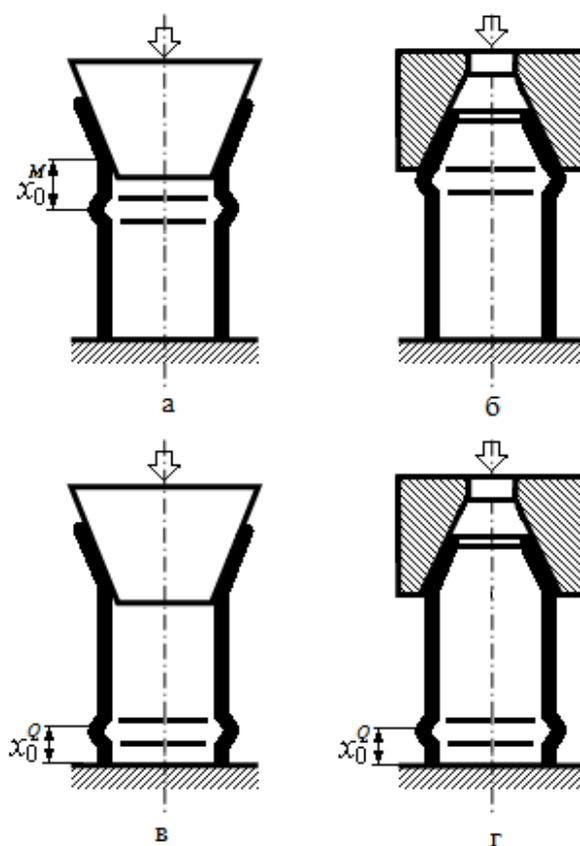


Рис. 3. Опасные сечения заготовки по условию возникновения кольцевой складки в зоне раздачи (а), зоне обжима (б), на опорной поверхности при раздаче (в), при обжиме (г)

Таким образом, проведенный анализ позволяет скорректировать известные формулы [5, 6] для определения критического меридионального напряжения $\sigma_{\rho max}^{расч}$ (по условию образования кольцевой складки) в операциях обжима и раздачи.

Итак, для операции обжима опасным сечением является граница перехода участка свободного изгиба в цилиндрический:

$$\sigma_{\rho max} = 0,75\sigma_{\rho max}^{расч} . \quad (4)$$

Для операции раздачи опасное сечение находится на расстоянии x_0^M (формула (1)) от границы перехода участка свободного изгиба в цилиндрический:

$$\sigma_{\rho max} = 0,98\sigma_{\rho max}^{расч} , \quad (5)$$

В операциях обжима в матрице, имеющей, сопряженную с конической, цилиндрическую поверхность на входе заготовки в инструмент (рис. 4), исключается вероятность складкообразования на границе с очагом деформации. При этом длина образующей цилиндрической части матрицы должна быть не менее величины x_0^M , рассчитываемой по формуле (1). Потеря устойчивости в этом случае с образованием поперечной складки произойдет вблизи опорной поверхности в сечении на расстоянии, определяемом формулой (1). В этом случае величина критического меридионального напряжения может быть определена по формуле:

$$\sigma_{\rho max} = 0,8\sigma_{\rho max}^{расч} , \quad (6)$$

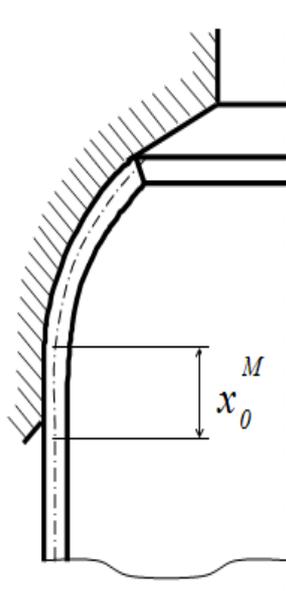


Рис. 4. Схема деформирования трубной заготовки в матрице с криволинейной образующей на переходе от цилиндрического участка

В настоящее время большой практический интерес представляют процессы получения тонкостенных осесимметричных деталей [7, 8], основанные на совмещении операций обжима и раздачи трубных заготовок, обеспечивающие значительную экономию металла, высокую точность размеров готовых изделий и т.д. Однако внедрение таких процессов в современное производство сдерживается отсутствием научно-обоснованных методик, что и определяет необходимость исследований, направленных на совершенствование расчёта технологических параметров совмещённых процессов деформирования трубных заготовок.

Полученные и приведенные выше результаты показывают, что вероятность потери устойчивости трубной заготовки в совмещённом процессе с образованием кольцевой складки многократно возрастает в случае, так называемого, «наложения» опасных сечений в зонах обжима и раздачи (рис. 5).

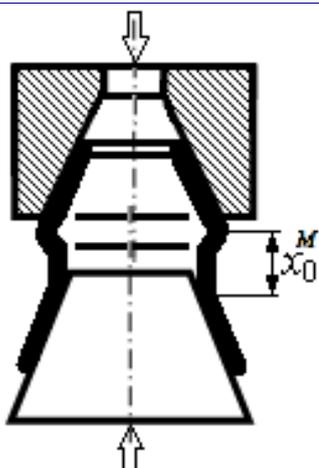


Рис. 5. «Наложение» опасных сечений в зонах обжима и раздачи

Для определения максимально возможной исходной высоты $H_{\text{пред}}$ трубной заготовки в совмещённом процессе необходимы следующие данные:

- материал заготовки;
- исходные размеры (радиус R и толщина S) заготовки;
- геометрия деформирующего инструмента;
- предельные (по условию возникновения кольцевой складки) коэффициенты обжима $[k_o]$ и раздачи $[k_p]$ (с использованием формул или результатов экспериментов);
- расчётная схема (рис. 6.);
- формула (1);
- допущение: постоянство длины образующей деформированной (изменения длин образующей на участках обжима и раздачи взаимно компенсируются).

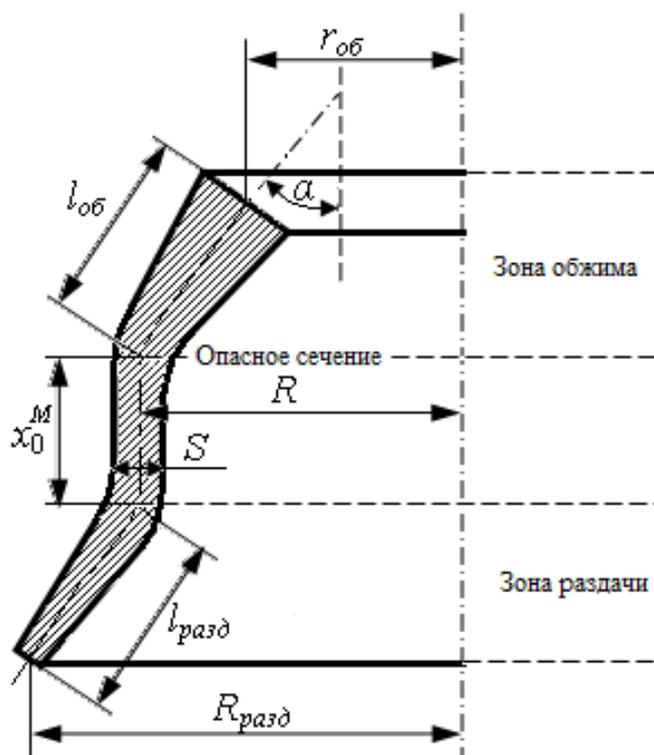


Рис. 6. Расчётная схема для определения максимально возможной высоты трубной заготовки по условию возникновения кольцевой складки в совмещённом процессе обжима-раздачи

Таким образом, условие устойчивости трубной заготовки по условию образования поперечной (кольцевой) складки в совмещённом процессе обжима-раздачи выразится:

$$H < H_{\text{пред}} = l_{\text{об}} + l_{\text{разд}} + x_0^M = \frac{R}{\sin \alpha} \left[\frac{([k_o] - 1)}{k_o} + ([k_p] - 1) \right] + \frac{\pi \sqrt{RS}}{4\sqrt{3(1 - \nu^2)}}. \quad (7)$$

Практическая проверка неравенства (7) показала высокую сходимость результатов штамповки (в пределах 5%). При значениях высоты исходной заготовки, рассчитанных по формуле (7), равных или превышающих максимально возможное $H_{\text{пред}}$, наблюдалось стабильное возникновение кольцевой складки (рис. 7). При значениях высоты, удовлетворяющих неравенство (7), кольцевая складка не возникала. В качестве материалов заготовок исследовались: сталь Ст3, сталь 20 и алюминиевый сплав АМг 6. Угол конусности инструмента (матрицы и пуансона) – 45°.

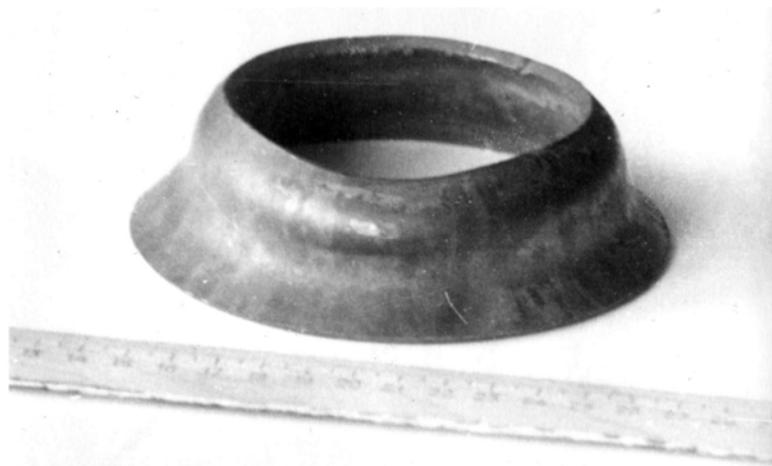


Рис. 7. Возникновение поперечной (кольцевой) складки в совмещённом процессе обжима-раздачи

ВЫВОДЫ

Определена степень влияния на очаг деформации сил и моментов, возникающих в краевых сечениях деформируемой трубной заготовки в операциях обжима, раздачи и в совмещённом процессе обжима-раздачи по условию образования кольцевых складок.

Получены формулы для определения расстояния от краевого сечения до опасного сечения трубной заготовки по условию образования кольцевых складок в операциях обжима и раздачи.

Определено условие устойчивости трубной заготовки по условию образования поперечной (кольцевой) складки в совмещённом процессе обжима-раздачи.

Практическая проверка показала высокую сходимость результатов теоретического анализа и результатов опытной штамповки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бебрис А. А. Устойчивость заготовки в формообразующих операциях листовой штамповки / А. А. Бебрис – Рига : Зинатне. – 1978. – 125 с.
2. Пашкевич А. Г. Гофрообразование при обжиме тонкостенных оболочек осевым усилием деформирования / А. Г. Пашкевич, А. В. Орехов // Известия вузов. : Машиностроение. – 1979. – №10. – С. 122–126.
3. Аверкиев Ю. А. Об определении наибольшей степени деформации при обжиме пустотелых цилиндрических заготовок в конической матрице // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – №11. – С. 19–22.

4. Розов Ю. Г. Влияние краевого эффекта на ограничение деформации в операциях листовой штамповки при деформировании цилиндрических тонкостенных заготовок // Вестник Херсонского государственного технического университета. Инженерные науки. – 2011. – № 4 (43). – С. 55–61.

5. Вершинин В. И. Вытяжка цилиндрических деталей с фланцем // Известия вузов. Машиностроение. – 1965. – №11. – С. 120–124.

6. Ковка и штамповка: Справочник: в 4-х т. Т.4 Листовая штамповка / Под ред. А. Д. Матвеева. Ред совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. – 1985–1987. – 544 с.: ил.

7. Розов Ю. Г. Напружено-деформований стан трубчатой заготовки при обтиску-роздачі інструментом сталі кривизни / Ю. Г. Розов // Прогресивна техніка і технологія – 2004 : доповідь V Міжнародної науково-практичної конференції, 24–28 черв. 2004 р., Севастополь.

8. Розов Ю. Г. Аналіз НДС початкової стадії обтиску-роздачі / Ю. Г. Розов, В. І. Стеблюк // Прогресивна техніка і технологія – 2004 : доповідь на V Міжнародній науково-практичній конференції, 24–28 черв. 2004 р., Севастополь.

REFERENCES

1. Bebris A. A. Ustojchivost' zagotovki v formoobrazujushhijh operacijah listovoj shtampovki / A. A. Bebris – Riga : Zinatne. – 1978. – 125 s.

2. Pashkevich A. G. Gofroobrazovanie pri obzhime tonkostennyh obolochek osevim usilijem deformirovanija / A. G. Pashkevich, A. V. Orehov // Izvestija vuzov. : Mashinostroenie. – 1979. – №10. – S. 122–126.

3. Averkiev Ju. A. Ob opredelenii naibol'shej stepeni deformacii pri obzhime pustotel'nyh cilindricheskijh zagotovok v konicheskijh matricah // Kuznechno-shtampovnoe proizvodstvo. – 1966. – №11. – S. 19–22.

4. Rozov Ju. G. Vlijanie kraevogo jeffekta na ogranichenie deformacii v operacijah listovoj shtampovki pri deformirovanii cilindricheskijh tonkostennyh zagotovok // Vestnik Hersonskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Inženernye nauki. – 2011. – № 4 (43). – S. 55–61.

5. Vershinin V. I. Vytjazhka cilindricheskijh detalej s flancem // Izvestija vuzov. Mashinostroenie. – 1965. – №11. – S. 120–124.

6. Kovka i shtampovka: Spravochnik: v 4-h t. T.4 Listovaja shtampovka / Pod red. A. D. Matveeva. Red sovet: E. I. Semenov (pred.) i dr. – M.: Mashinostroenie. – 1985–1987. – 544 s.: il.

7. Rozov Ju. G. Napruzheno-deformovanij stan trubchatoj zagotivli pri obtisku-rozdachi instrumentom staloi krivizni / Ju. G. Rozov // Progresivna tehnika i tehnologija – 2004 : dopovid' V Mizhnarodnoj naukovopraktichnoj konferencii, 24–28 cherv. 2004 r., Sevastopol'.

8. Rozov Ju. G. Analiz NDS pochatkovoї stadiї obtisku-rozdachi / Ju. G. Rozov, V. I. Stebljuk // Progresivna tehnika i tehnologija – 2004 : dopovid' na V Mizhnarodnij naukovopraktichnij konferencii, 24–28 cherv. 2004 r., Sevastopol'.

Розов Ю. Г. – д-р техн. наук, проф. ХНТУ

ХНТУ – Херсонский национальный технический университет, г. Херсон.

E-mail: rozovu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.11.2016 г.