

УДК 621.983

**Калюжный В. Л.
Запорожченко А. С.****СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫТЯЖКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В
ДВУХКОНУСНЫХ МАТРИЦАХ И МАТРИЦЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**

Вытяжка полых изделий из листовых заготовок – распространенная формообразующая операция листовой штамповки. Технологические параметры традиционной вытяжки осесимметричных изделий из круглой заготовки, выбираемые по рекомендациям, изложенным в источниках [1–4], уже не отвечают требованиям современного производства, как по производительности штамповки, так и по точности формы и размеров изделий. Для повышения точности формы и размеров необходим второй переход штамповки – вытяжки с утонением. Использование комбинированной вытяжки в одноконусных и двухконусных матрицах позволяет увеличить глубину вытяжки за один переход и повысить точность формы и размеров изделий благодаря утонению стенки при формообразовании [5]. Суть комбинированной вытяжки в двухконусных матрицах заключается в распределении формообразования изделия на три стадии (рис. 1). Первая стадия начинается деформированием плоской листовой заготовки 1 диаметром D_3 в верхнем конусе матрицы 2, который выполнен под углом α , при помощи пуансона 3 диаметром $D_п$. После первой стадии образуется коническая чашка. Вторая стадия заключается в формообразовании второй конической чашки в нижнем конусе матрицы 2 с углом β . На третьей стадии выполняют вытяжку с утонением в рабочей пояске матрицы 2, имеющей диаметр D_m . Напряженно-деформированное состояние заготовки при комбинированной вытяжке в двухконусных матрицах с различными углами α исследовано с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в работе [6]. Установлены величины углов двухконусной матрицы, которые обеспечивают минимальные величины растягивающих напряжений в стенке при вытяжке и наименьшее использование ресурса пластичности сформированного металла. В работе [7] показано, что глубину вытяжки за один переход можно существенно увеличить, если использовать матрицу специального профиля, в которой формообразование изделия выполняется по стадиям матрицы с деформирующей поверхностью в виде последовательно расположенных торов разного диаметра. При этом снижается усилие вытяжки благодаря уменьшению площади контакта между матрицей и металлом, а следующая стадия штамповки начинается при падении усилия деформирования на предыдущей стадии. Очевидно, при формоизменении заготовок комбинированной вытяжкой также можно обеспечить уменьшение усилия, если заменить вышеприведенную традиционную двухконусную матрицу на матрицу специального профиля (рис. 2). В такой матрице деформирующие поверхности выполнены в виде пересечений поверхностей торов диаметром d , последовательно расположенные под углами α и β . Это приводит к локализации очага деформации в заготовке и уменьшению площади контакта заготовки с матрицей. В итоге будет иметь место снижение усилия штамповки, уменьшение осевых растягивающих напряжений в опасном сечении заготовки и увеличение степени деформации на стадии вытяжки с утонением, что приведет к возрастанию высоты изделий.

Целью работы является сравнительный анализ эффективности уменьшения усилия деформирования при комбинированной вытяжке осесимметричных изделий в двухконусных матрицах различной конфигурации и матрице специального профиля. Для двухконусных матриц такая задача частично решена в работе [6]. Для вытяжки в матрице специального профиля геометрия деформирующей поверхности должна быть такой, чтобы обеспечить уменьшения усилия штамповки и исключить вероятность потери устойчивости геометрической формы при штамповке.

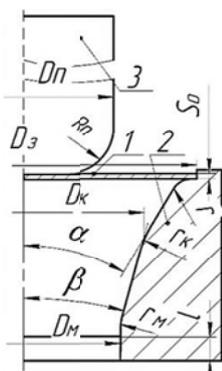


Рис. 1. Схема комбинированной вытяжки в традиционной двухконусной матрице

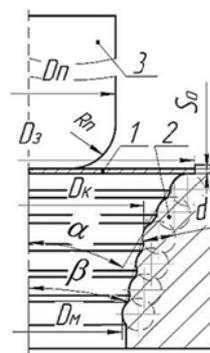


Рис. 2. Схема вытяжки в матрице специального профиля

Установить диаметры торов d и шаг их расположения под углами α и β возможно проведением численных экспериментов с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Созданные математические модели должны учитывать основные факторы, которые влияют на процессы комбинированной вытяжки: конструктивные (геометрическую форму пуансонов и матриц), технологические (степень деформации, относительная толщина заготовки, тот факт, что не весь объем заготовки находится в пластическом состоянии, скорость деформирования, тип смазки), физико-механические (упругие свойства, диаграмму истинных напряжений и диаграмму пластичности металла заготовки).

Для сравнения эффективности уменьшения усилия деформирования при комбинированной вытяжке осесимметричных изделий в двухконусных матрицах различной конфигурации был проведен расчетный анализ комбинированной вытяжки пуансоном круглых заготовок из сплава АМцА – М диаметром $D_z = 110$ миллиметров (мм) и толщиной $S_0 = 1,7$ мм. Толщина стенки изделия 1,4 мм. Вытяжку (см. рис. 1) выполняли в двухконусной матрице с $\alpha = 45^\circ$ и $\beta = 15^\circ$ по данным работы [5] и в матрице с углами $\alpha = 55^\circ$ и $\beta = 15^\circ$ по результатам в работы [6]. Для матрицы специального профиля углы расположения поверхностей торов были приняты $\alpha = 55^\circ$ и $\beta = 15^\circ$, а диаметры торов взяты по рекомендациям источников [7, 8].

На рис. 3 приведены расчетные зависимости усилия комбинированной вытяжки от перемещения пуансонов для вышеприведенных трех вариантов вытяжки. Характер зависимостей для штамповки в двухконусных матрицах соответствует экспериментальным данным работы [5]. Явный максимум усилия вытяжки в матрице специального профиля имеет место на стадии утонения стенки. При традиционной вытяжке в матрице с $\alpha = 45^\circ$ максимальное значение усилия составило 48,2 кН, в матрице с $\alpha = 55^\circ$ – 44,6 кН, а в матрице специального профиля – 42,1 кН. Увеличение угла верхнего конуса матрицы приводит до снижения усилия традиционной вытяжки на 8 %. Применение матрицы специального профиля позволило уменьшить усилие деформирования на 13 %. Таким образом, использование такой матрицы позволило снизить усилие на 21 % по сравнению с распространенной комбинированной вытяжкой.

Далее рассмотрим величины осевых растягивающих напряжений σ_z , которые возникают в стенках сформированных заготовок при максимальных величинах усилия вытяжки. Распределения напряжений σ_z в стенках заготовок при традиционной вытяжке в двухконусной матрице с углами верхнего конуса $\alpha = 45^\circ$, $\alpha = 55^\circ$ и вытяжке в матрице специального профиля показаны на рис. 4. Максимальные величины напряжений σ_z возникают в стенках после выхода металла из очага деформации в зазор между матрицей и пуансоном. При вытяжке в матрице с $\alpha = 45^\circ$ получено значение $\sigma_z = 220$ МПа (рис. 4, а), причем область действия указанных напряжений охватывает всю ширину стенки на высоте 5 мм. Вытяжка в матрице с $\alpha = 55^\circ$ приводит к возникновению $\sigma_z = 212$ МПа и уменьшению размеров области с этими напряжениями (рис. 4, б). Специальный профиль матрицы обеспечивает возникновение величины $\sigma_z = 202$ МПа (рис. 4, в). Также наблюдается существенное уменьшение напряжений по всей высоте стенки до донной части изделий и в зоне заготовки на радиусе закругления пуансона.

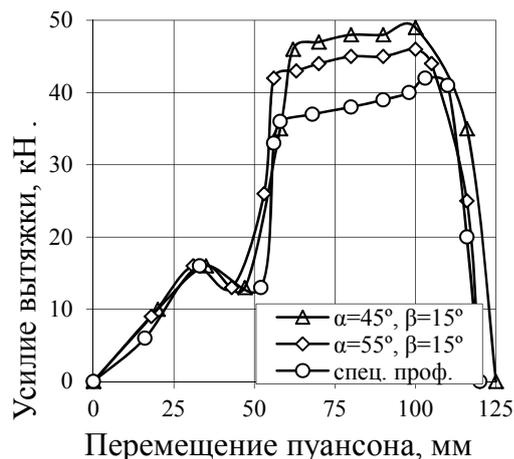


Рис. 3. Зависимости усилия вытяжки от перемещения пуансона

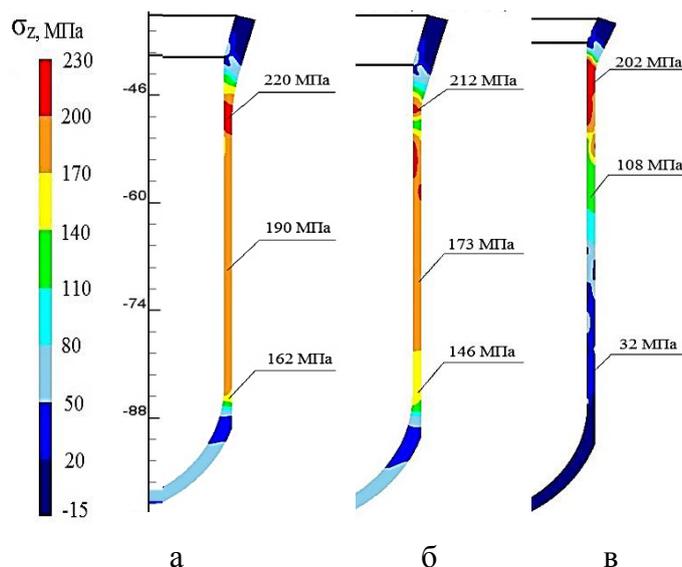


Рис. 4. Распределение осевых напряжений σ_z в стенке при максимуме усилия вытяжки: а – $\alpha = 45^\circ$; б – $\alpha = 55^\circ$; в – матрица специального профиля. Размер по высоте в миллиметрах

Распределение степени использования ресурса пластичности ψ деформированного металла после вытяжки в двухконусной матрице и матрице специального профиля показаны на рис. 5. Максимальная величина ψ деформированного металла после вытяжки в матрице с $\alpha = 45^\circ$ достигает значения 0,79 по всей ширине стенки изделия на высоте 30 мм (рис. 5, а). После вытяжки в матрице с $\alpha = 55^\circ$ эта величина достигает значения $\psi = 0,75$ на меньшей высоте, чем в первом случае (рис. 5, б). Использование матрицы специального профиля обеспечивает получение изделий с $\psi = 0,6-0,7$ в поверхностных слоях металла (рис. 5, в). Таким образом, вытяжкой в матрице специального профиля можно выполнить большее утонение стенки за один переход и получить изделие увеличенной высоты.

По данным расчетного анализа был спроектирован и изготовлен штамп для комбинированной вытяжки в матрице специального профиля изделий внешним диаметром 38 мм, толщиной стенки 1,4 мм и высотой 75 мм из стали 08кп. Для вытяжки необходима заготовка диаметром $D = 105$ мм толщиной 1,5 мм. Общий вид штампа в положении перед вытяжкой приведен на рис. 6. Вытяжная матрица состоит из частей 1, 2 и 3, которые установлены на промежуточной плите 4. На верхней части 1 размещено кольцо 5 для направления пуансона 6. В плите 4 по диагонали установлены две направляющие втулки 9. Промежуточная плита 4 установлена на упорах 10 и крепится к нижней плите штампа 11 гайками 12. Также в пазах плиты 4 установлены ползушки 18 с пружинами 19 и прикреплены к ней в корпусах 20 при помощи болтов 21. Вытяжной пуансон 6 с опорной плитой 13 размещен в пуансонодержателе 14. Пуансонодержатель 14 болтами 15 крепится к верхней плите штампа 16. В плите 16 установлены по диагонали две направляющие колонки 17. Исходная заготовка размещается в пазе части 1 вытяжной матрицы. Съем готового изделия из пуансона выполняется ползушками 18. Штамп устанавливался на гидравлическом прессе ДБ 2432 усилием 1,6 мН. На рис. 7 приведена экспериментальная оснастка: штамп и матрица специального профиля.

Проведенные экспериментальные исследования комбинированной вытяжки в матрице специального профиля показали возможность получения изделий за один переход вместо существующей технологии штамповки за два перехода. На рис. 8 показана исходная заготовка, а на рис. 9 – детали, полученные комбинированной вытяжкой в матрице специального профиля.

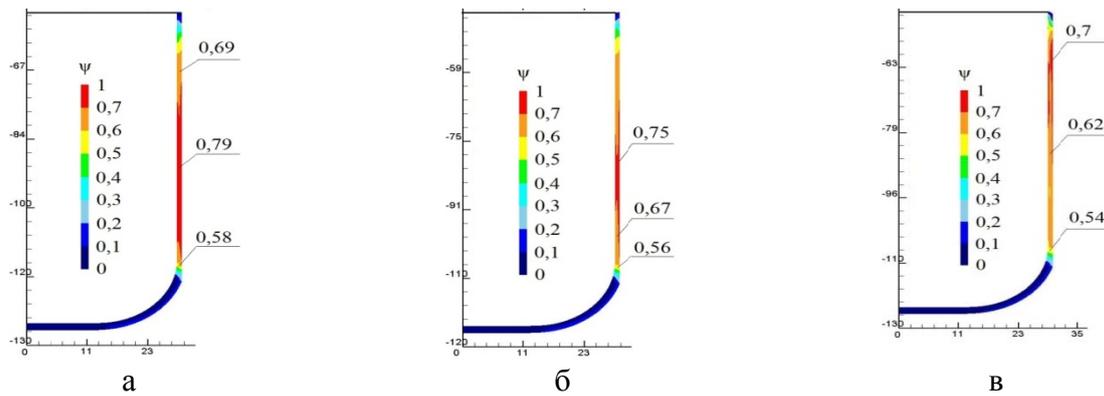


Рис. 5. Распределение степени использования ресурса пластичности ψ в стенках изделий после вытяжки:

а – в матрице с $\alpha = 45^\circ$ и $\beta = 15^\circ$; б – в матрице с $\alpha = 45^\circ$ и $\beta = 15^\circ$; в – в матрице специального профиля. Размеры по осям в миллиметрах

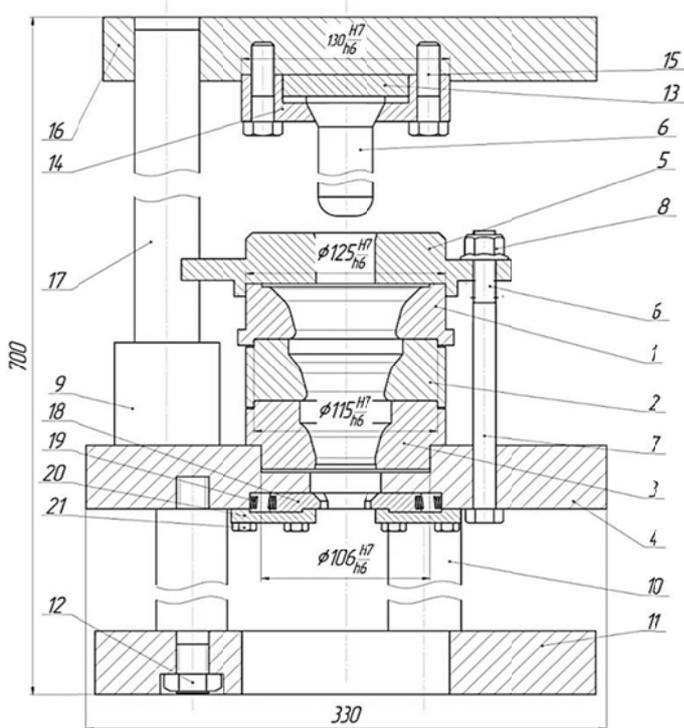


Рис. 6. Эскиз штампа для комбинированной вытяжки в матрице специального профиля



а



б

Рис. 7. Экспериментальная оснастка:

а – штамп на прессе; б – матрица



Рис. 8. Исходная заготовка



Рис. 9. Детали, полученные за один переход вытяжкой в матрице специального профиля

ВЫВОДЫ

Методом конечных элементов проведен сравнительный расчетный анализ традиционной комбинированной вытяжки осесимметричных изделий в двухконусных матрицах и матрице специального профиля. Наибольшее снижение усилия штамповки получено для вытяжки в матрице специального профиля. Это приводит к снижению растягивающих напряжений в опасном сечении стенки заготовки, ресурса пластичности металла и увеличению высоты изделий, изготавливаемых за один переход.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке. Шестое изд., перераб. и доп.* / В. П. Романовский. – Ленингр. отд-ние : Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. *Ковка и штамповка : справочник : в 4 т. Т. 4. Листовая штамповка.* / под ред. А. Д. Матвеева; ред. совет : Е. И. Семенов (пред.) [и др.] – М. : Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.
3. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка* / Ю. А. Аверкиев. – Издательство Ростовского университета, 1984. – 288 с.
4. Аверкиев Ю. А. *Технология холодной штамповки* / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Валиев С. А. *Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов* / С. А. Валиев. – М. : Машиностроение, 1973. – 176 с.
6. Калюжный В. Л. *Определение оптимального угла двухконусной матрицы для комбинированной вытяжки осесимметричных изделий* / В. Л. Калюжный, А. С. Запорожченко // *Сборник научных трудов (отраслевое машиностроение, строительство)*, Полтава : НТУ, Вып. 2 (37) 2013. – С. 99–105.
7. Калюжный А. В. *Уменьшение количества переходов вытяжки осесимметричных изделий с использованием матрицы специального профиля* / А. В. Калюжный // *Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 4 (37), – С. 93–97.
8. Калюжный А. В. *Уменьшение усилия и повышение производительности формообразования при комбинированном вытягивании осесимметричных изделий* / А. В. Калюжный // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия «Новые решения в современных технологиях».* – Харьков : ХПИ, 2013. № 42'20/ – С. 126–131.

REFERENCES

1. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke. Shestoe izd., pererab. i dop.* / V. P. Romanovskij. – Leningr. otd-nie : Mashinostroenie, 1979. – 520 s.
2. *Kovka i shtampovka : spravochnik : v 4 t. T. 4. Listovaja shtampovka.* / pod red. A. D. Matveeva; red. sovet : E. I. Semenov (pred.) [i dr.] – M. : Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s.
3. Averkiev Ju. A. *Holodnaja shtampovka* / Ju. A. Averkiev. – Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta, 1984. – 288 s.
4. Averkiev Ju. A. *Tehnologija holodnoj shtampovki* / Ju. A. Averkiev, A. Ju. Averkiev. – M. : Mashinostroenie, 1989. – 304 s.
5. Valiev S. A. *Kombinirovannaja glubokaja vytjazhka listovyh materialov* / S. A. Valiev. – M. : Mashinostroenie, 1973. – 176 s.
6. Kaljuzhnyj V. L. *Opređenje optimal'nogo ugla dvuhkonusnoj matricy dlja kombinirovannoj vytjazhki osesimmetrichnyh izdelij* / V. L. Kaljuzhnyj, A. S. Zaporozhchenko // *Sbornik nauchnyh trudov (otraslevoe mashinostroenie, stroitel'stvo)*, Poltava : NTU, Vyp. 2 (37) 2013. – S. 99–105.
7. Kaljuzhnyj A. V. *Umen'shenie kolichestva perehodov vytjazhki osesimmetrichnyh izdelij s ispol'zovaniem matricy special'nogo profilja* / A. V. Kaljuzhnyj // *Obrabotka materialov davleniem : sb. nauchn. trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2013. – № 4 (37), – S. 93–97.
8. Kaljuzhnyj A. V. *Umen'shenie usilija i povyszenie proizvoditel'nosti formoobrazovanija pri kombinirovannom vytjagivanii osesimmetrichnyh izdelij* / A. V. Kaljuzhnyj // *Vestnik NTU «HPI», Serija «Novye reshenija v sovremennyh tehnologijah».* – Har'kov : HPI, 2013. № 42'20/ – S. 126–131.

Калюжный В. Л. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПИ»

Запорожченко А. С. – магистр НТУУ «КПИ»

НТУУ «КПИ» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев.

E-mail: kwl_2011@ukr.net, andrey.scorpion2000@gmail.com