

УДК.621.983

Калюжный А. В.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РАЗДАЧИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА**

В продукции машиностроения, атомной энергетики, нефтедобывающей промышленности и строительной индустрии в трубопроводах широко используются соединительные элементы различной конфигурации для соединения труб разных диаметров. Форма соединительных элементов и схема их изготовления приведены на рис 1. Широко распространены элементы в виде конуса, цилиндра-конуса та цилиндра-конуса с фланцем (рис. 1а). Для изготовления элементов используют горячую или холодную раздачу трубчатой заготовки коническим пуансоном или раздачу с последующим формообразованием фланца [1–6]. Схема закрытой раздачи приведена на рис. 1б. Слева от оси симметрии приведено положение перед раздачей, справа – в процессе раздачи. Исходную трубную заготовку высотой  $H_0$  и толщиной стенки  $S_0$  устанавливают на плиту 2. Для предотвращения потери устойчивости стенки заготовки при раздаче предусмотрен жесткий упор 3. Раздачу осуществляют пуансоном с углом конуса  $\gamma$ . В процессе раздачи, при опускании пуансона 4, также смещается упор 3 и происходит формообразование изделия 6 с диаметром торца  $D_p$  и толщиной  $S_p$ . Предельное формоизменение при раздаче определяется коэффициентом раздачи  $k_p = D_p / D_0$ . Величина коэффициента  $k_p$  при холодной раздаче ограничена по причине возникновения продольных трещин на сформированной части заготовки в связи с утонением стенки или утолщением цилиндрической части заготовки при формоизменении. Применение конического пуансона специального профиля позволяет увеличить коэффициент холодной раздачи на 20 % благодаря уменьшению сил трения на контактной поверхности [7]. Использование давления жидкости на внутреннюю поверхность заготовки при раздаче приводит до получения величины  $k_p=2$  [8–11]. Однако, утонения стенки сформированной части заготовки при раздаче трубных заготовок коническим пуансоном для изготовления соединительных элементов трубопроводов имеет два существенных недостатка. Первый недостаток заключается в ограниченном формоизменении, что не позволяет получать элементы большой длины и фланцы последующим деформированием без проведения отжига заготовок. Вторым недостатком – это снижение надежности и долговечности сварных соединений элементов с трубопроводами. Поэтому актуальными задачами являются поиск резервов увеличения коэффициента раздачи и установление возможности получения соединительных элементов с постоянной толщиной стенки по длине.

Целью работы является снижение себестоимости изготовления и повышение качества холодноштампованных соединительных элементов.

Снижение себестоимости можно обеспечить путем использования листового проката и применения операции вытяжки в двухконусной матрице для получения исходных трубных полуфабрикатов под последующую раздачу. Стоимость таких полуфабрикатов ниже стоимости трубных заготовок, которые отрезаны из трубы. Повышение качества заключается в получении раздачей элементов с толщиной стенки по длине не меньше толщины  $S_0$ . Вытяжка круглых листовых заготовок с разных материалов в традиционной двухконусной матрице изучена в работе [12]. Применение двухконусной матрицы специального профиля позволяет уменьшить количество переходов вытяжки [13]. Схема вытяжки листовой заготовки в указанной матрице для получения полуфабриката приведена на рис. 2. Положение перед вытяж-

кой показано слева от оси симметрии. Круглую листовую заготовку диаметром  $D_3$  и толщиной  $S_0$  устанавливают в двухконусной матрице специального профиля с углами конусов  $\alpha$  и  $\beta$ . Диаметр матрицы  $D_k = 0,9D_3$ , а диаметр  $D_1$  рассчитывают таким образом, чтобы длина конической поверхности под углом  $\beta$  равнялась длине сдеформированной части заготовки перед началом деформирования ее в зазоре  $z$  [12]. Деформирующие поверхности матрицы образованы пересечением торов диаметром  $d$ , центры сечений которых расположены с шагом  $t$ . Шаг выбирают таким образом, чтобы не было искривления стенки заготовки при формоизменении. Вытяжку осуществляют пуансоном 3. После вытяжки получают полуфабрикат 4 с толщиной стенки  $S_0$  в зазоре с утолщением по длине до толщины  $S_k$  на торце.

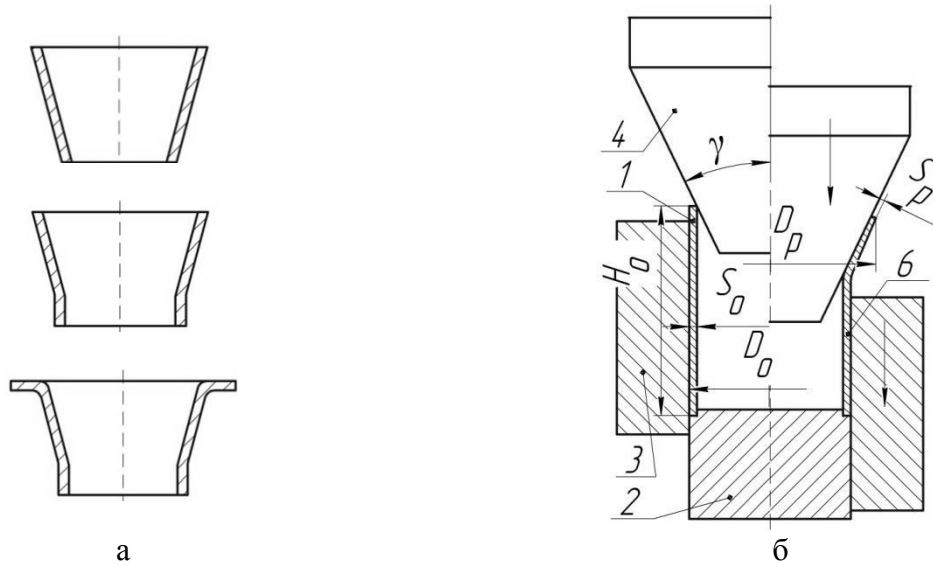


Рис. 1. Форма соединительных элементов (а) и схема их изготовления (б)

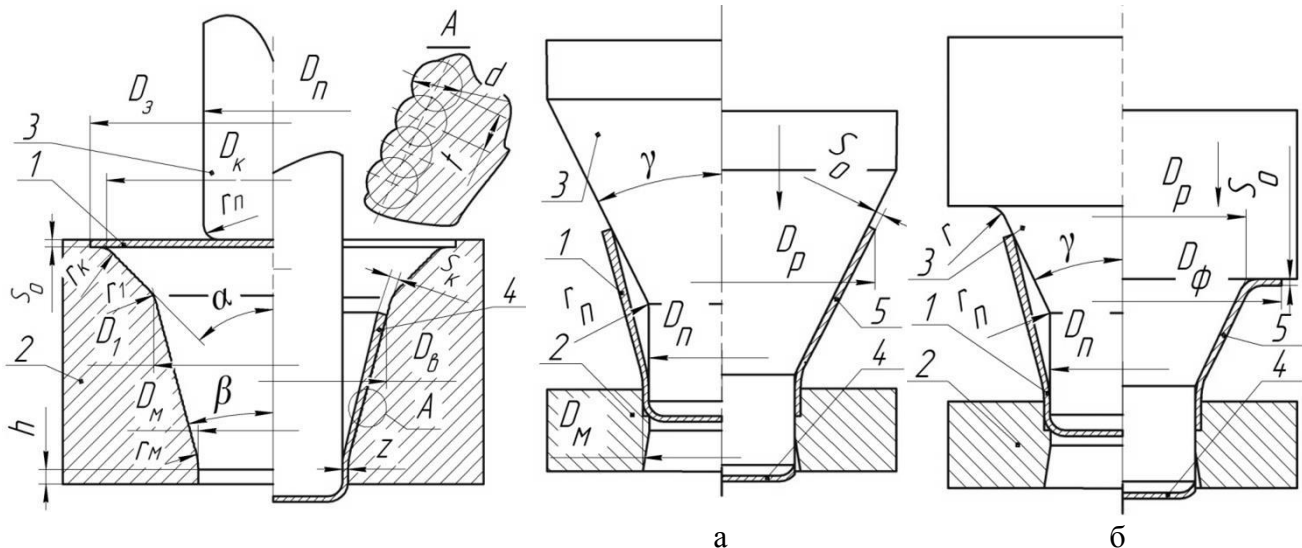


Рис. 2. Вытяжка листовой заготовки в двухконусной матрице специального профиля для получения полуфабриката

Рис. 3. Второй переход штамповки полуфабриката пробивкой дна с раздачей для получения соединительных элементов:

а – получение конического элемента, б – получение элемента с фланцем

На втором переходе пробивки дна с раздачей полуфабриката получают соединительные элементы (рис. 3). Для изготовления конического элемента полуфабрикат 1 устанавли-

вают в матрице 2 для пробивки отверстия в донной части (рис. 3а). Деформирование осуществляется пуансоном 3 с углом конуса  $\gamma$ . Сначала пробивают дно 4 с дальнейшей раздачей, при которой происходит утонение стенки и получают соединительный элемент 5 диаметром  $D_p$  и толщиной стенки  $S_o$ . Для получения фланца на коническом элементе при пробивке дна с раздачей используют пуансон другой формы (рис. 3б).

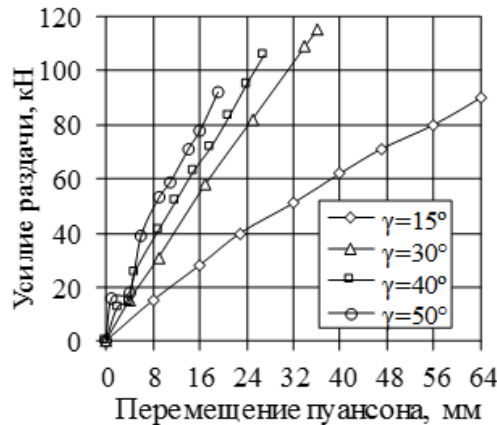


Рис. 3. Зависимости усилия раздачи от перемещения пуансонов с разным углом конуса  $\gamma$

С использованием конечно-элементной программы DEFORM было проведено моделирование процессов раздачи трубных заготовок коническим пуансоном и пробивки дна с раздачей полуфабрикатов, полученных вытяжкой из листовой заготовки. На втором переходе пробивки дна с раздачей учтены накопленные деформации после вытяжки. Раздачу трубных заготовок из стали AISI 316L с размерами  $H_o=70$  мм,  $D_o=38$  мм и  $S_o=1,5$  мм осуществляли пуансонами с углами конуса  $\gamma=15^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  и  $50^\circ$ . Углы конуса  $\gamma=30^\circ, 40^\circ$  и  $50^\circ$  были использованы для раздачи полуфабриката, который получен вытяжкой листовой заготовки диаметром  $D_z=100$  мм, и толщиной  $S_o=1,5$  мм. Стоимость этой листовой заготовки приблизительно на 20 % меньше вышеприведенной трубной заготовки. Матрица специального профиля для вытяжки полуфабриката имела следующие размеры:  $D_k=90$  мм,  $D_1=62$  мм,  $D_m=38$  мм,  $r_k=6$  мм,  $r_1=10$  мм,  $r_m=20$  мм,  $h=4$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ,  $\beta=15^\circ$ ,  $d=3$  мм и  $t=3$  мм. Пуансон для вытяжки имел диаметр  $D_n=35$  мм, который соответствовал внутреннему диаметру трубной заготовки, и радиус скругления  $r_n=4$  мм. Зазор между пуансоном и матрицей был  $z=3$  мм. Для второго перехода пробивки дна с раздачей полуфабриката использовали пуансон и матрицу с размерами:  $D_n=35$  мм,  $r_n=10$  мм,  $D_m=38$  мм. Углы конуса пуансонов были  $\gamma=30^\circ, 40^\circ$  и  $50^\circ$ .

На рис. 3 приведены расчетные зависимости усилия раздачи от перемещения пуансонов с разным углом конуса  $\gamma$ . Моделирование раздачи пуансоном с  $\gamma=15^\circ$  заканчивали при полном деформировании заготовки, а для остальных пуансонов – в момент начала искривления заготовок в месте перехода цилиндрической части заготовки в сформированную часть. С увеличением угла  $\gamma$  перемещение пуансонов уменьшается. Для рассмотренных пуансонов усилие при раздаче постоянно возрастает, достигая максимальной величины в конце процесса формоизменения заготовок.

Размеры соединительных элементов, которые получены раздачей коническими пуансонами с разным углом  $\gamma$  приведены на рис. 4. Тут и в дальнейшем тонкими линиями показан деформирующий инструмент. С увеличением угла конуса коэффициент раздачи  $k_p$  уменьшаются. С увеличением угла пуансона внешний диаметр  $D_p$  торца сформированной

части заготовки и сама длина этой части уменьшаются. После раздачи получены следующие величины коэффициента  $k_p$ : для  $\gamma=15^\circ$  –  $k_p=1,67$ ; для  $\gamma=30^\circ$  –  $k_p=1,63$ ; для  $\gamma=40^\circ$  –  $k_p=1,58$ ; для  $\gamma=50^\circ$  –  $k_p=1,47$ . Полученные значения коэффициентов  $k_p$  подтверждаются экспериментальными данными работ [1–3]. В месте перехода конической части в цилиндрическую часть заготовки толщина стенки увеличивается с  $S_o=1,5$  мм до 1,59 мм после раздачи пуансоном с  $\gamma=15^\circ$  и до 168 мм для других пуансонов. При раздаче происходит утонение стенки сформированной части заготовки до величины на торце  $S_k=1,1$  мм после раздачи пуансонами с  $\gamma=15^\circ$  и  $30^\circ$ , а для пуансонов с  $\gamma=40^\circ$  и  $50^\circ$  – до значений  $S_k=1,18$  мм и 1,22 мм соответственно. Утонение снижает надежность и долговечность сварных мест соединительных элементов с трубопроводами. Другим недостатком наличия утонения является невозможность получения фланцев на конических частях без проведения отжига заготовок, полученных раздачей. Кроме того, формообразование фланцев приведет дальнейшему утонению стенок.

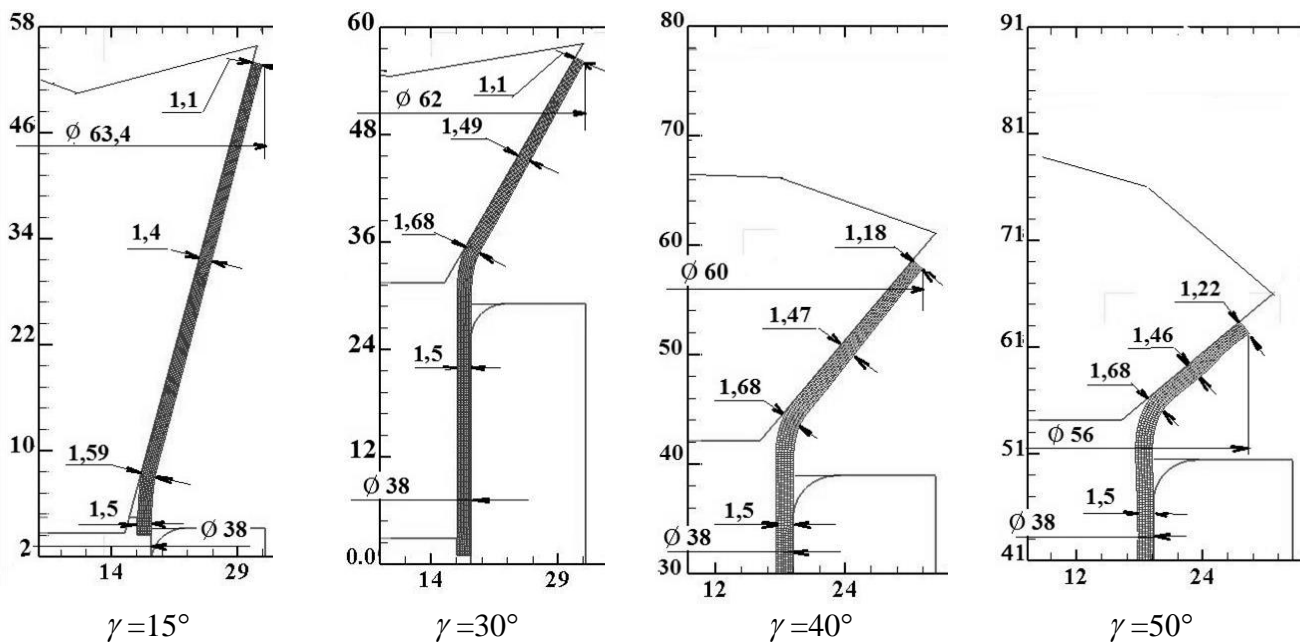


Рис. 4. Размеры соединительных элементов, которые получены раздачей коническими пуансонами с разным углом  $\gamma$

Одним из показателей качества сформированных заготовок после раздачи является проработка структуры металла холодной пластической деформацией, которую можно оценить по распределению интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$ . Распределения  $\varepsilon_i$  в сформированных частях заготовках после раздачи пуансонами с разным углом конуса  $\gamma$  приведены на рис. 5. По длине сформированных частей заготовок наибольшие величины интенсивности деформаций сосредоточены в области торцов с уменьшением по длине до радиуса перехода сформированной части в цилиндрическую. С увеличением угла  $\gamma$  снижаются значения  $\varepsilon_i$ . После раздачи пуансоном с  $\gamma=15^\circ$  в области торца сформированной части получено  $\varepsilon_i=0,6$  с уменьшением до  $\varepsilon_i=0,16$  в начале радиуса перехода этой части в цилиндрическую часть. Формообразование пуансоном с  $\gamma=50^\circ$  приводит до величины  $\varepsilon_i=0,44$  в области торца сформированной части.

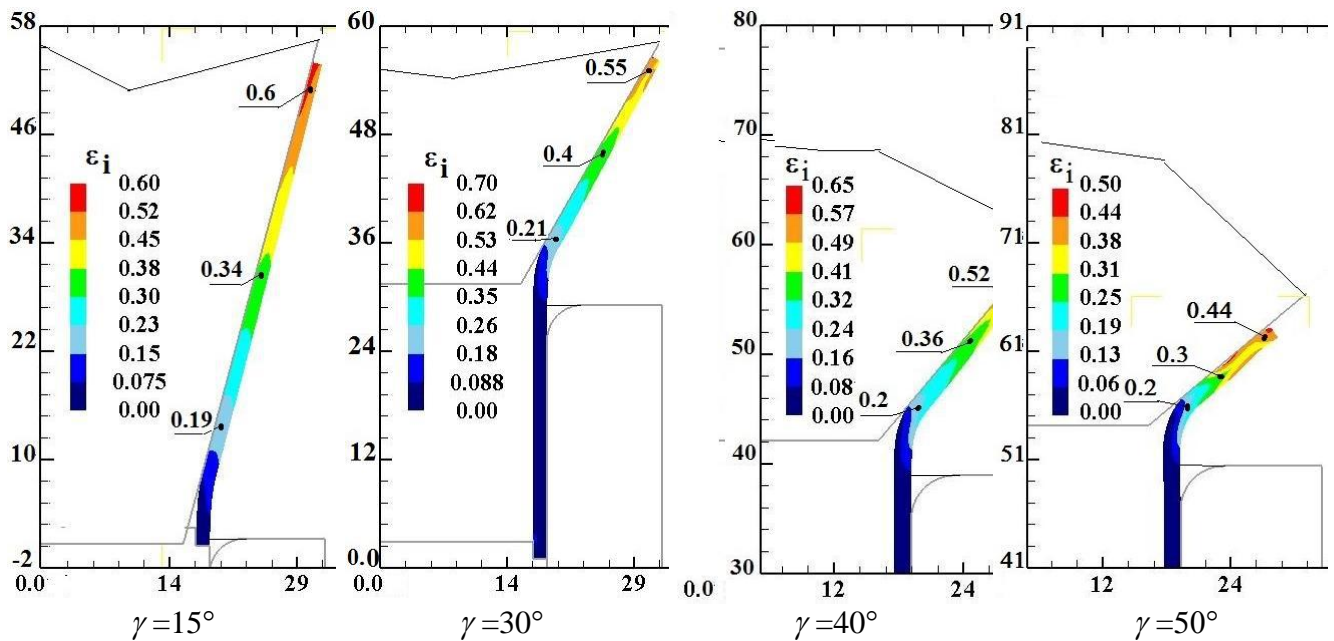


Рис. 5. Распределения интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$  в сформированных частях заготовках после раздачи пуансонами с разным углом конуса  $\gamma$

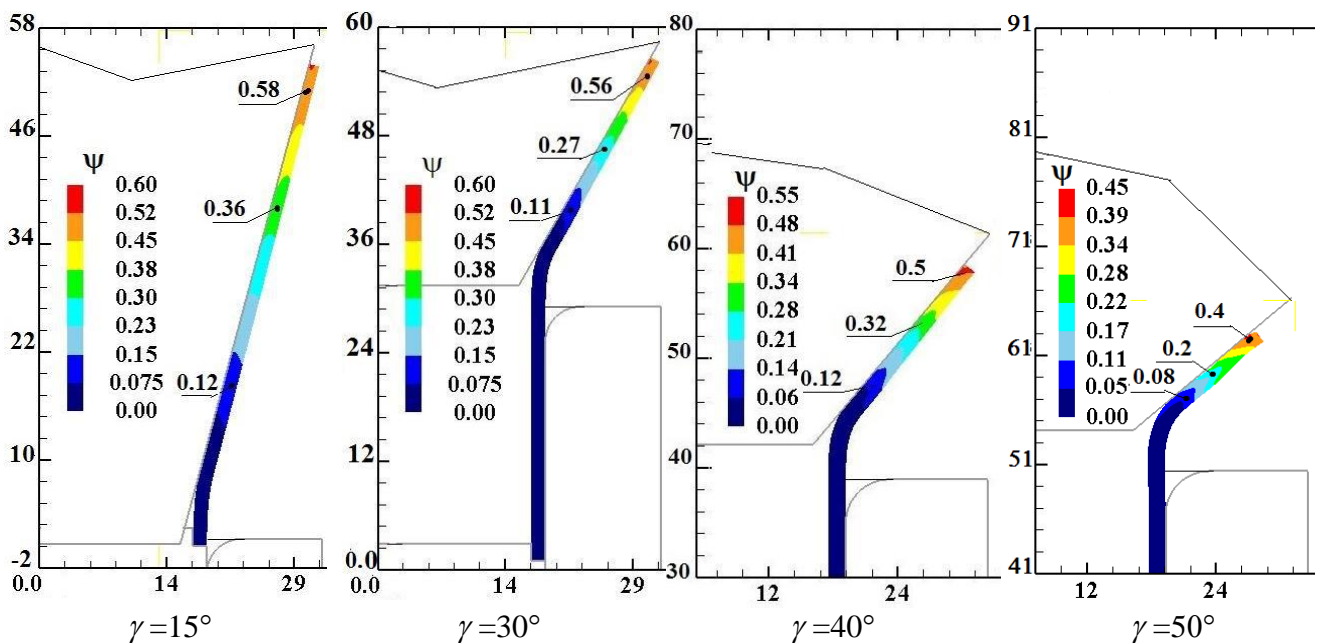


Рис. 6. Распределения степени использования ресурса пластичности  $\psi$  в сформированных заготовках после раздачи пуансонами с разным углом конуса  $\gamma$

Аналогичный вид имеют распределения степени использования ресурса пластичности  $\psi$  сформированного металла в конических частях заготовок после раздачи. Указанные распределения после раздачи пуансонами с разным углом конуса приведены на рис. 6. Наибольшие значения ресурса пластичности  $\psi = 0,58$  получены после раздачи пуансоном с  $\gamma = 15^\circ$ . При величине  $\psi = 1$  происходит разрушение сформированного металла. Для рассмотренных вариантов раздачи ресурс пластичности сформированного металла исчерпывается практически наполовину.

Общие виды соединительных элементов в разрезе, которые получены раздачей коническими пуансонами с разным углом конуса  $\gamma$ , показаны на рис. 7. С увеличением угла конуса длина конической части соединительного элемента значительно уменьшается.

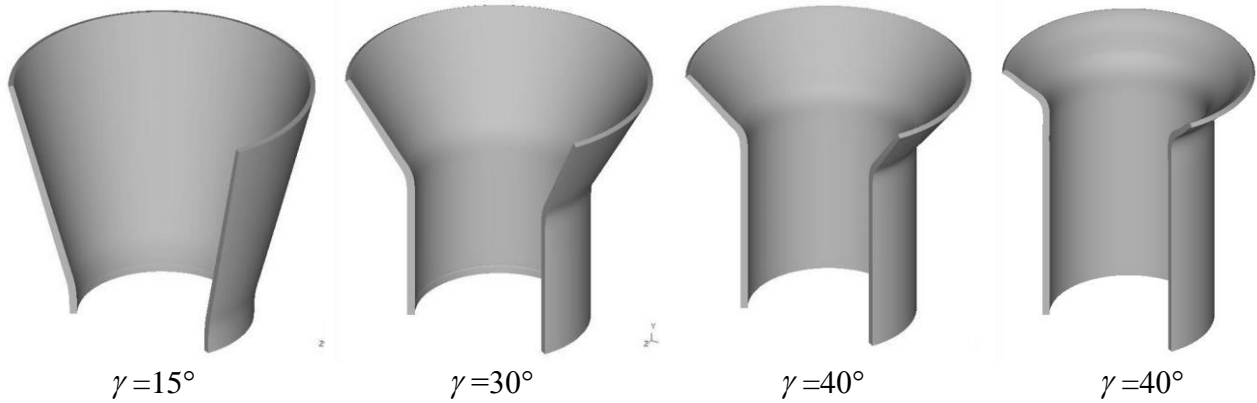


Рис 7. Общие виды соединительных элементов в разрезе, которые получены раздачей конусным пуансоном с разным углом конуса  $\gamma$

Далее приведены результаты компьютерного моделирования формообразования конических соединительных элементов с использованием исходных заготовок из листового проката и использования операций вытяжки и последующими пробивкой дна и раздачей раздачей. Расчетная зависимость усилия вытяжки полуфабриката в матрице специального профиля из круглой листовой заготовки и общий вид полуфабриката в разрезе приведены на рис. 8. График усилия имеет два максимума (рис. 8а). Первый максимум (93 кН) имеет место при завершении деформировании торца заготовки на радиусе скругления  $r_1$  поверхности матрицы (см. рис. 2). Второй максимум (100 кН) получен в конце вытяжки. Общий вид в разрезе полуфабриката, который получен вытяжкой, показан на рис. 8б.



Рис. 8. Расчетная зависимость усилия вытяжки от перемещения пуансона (а) и общий вид полуфабриката в разрезе, полученный вытяжкой (б)

Размеры полуфабриката, распределение интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$  и степени использования ресурса пластичности  $\psi$  в сдеформированном металле полуфабриката показаны на рис. 9. После вытяжки внешний диаметр цилиндрической части полуфабриката составил 38 мм при толщине стенки 1,5 мм, что соответствует внешнему диаметру и толщине стенки вышеприведенной трубной заготовки (рис.9а). При вытяжке стенка конической части полуфабриката, которая имеет угол конуса  $15^\circ$ , утолщается с исходного значения  $S_o=1,5$  мм до величины  $S_k=1,98$  мм. Для сравнения, при раздаче трубной заготовки пуансоном с  $\gamma=15^\circ$  получена толщина торца 1,1 мм (см. рис. 4). На радиусе скругления пуансона стенка утоняется до 1,11 мм. При вытяжке происходит интенсивная проработка структуры металла холодной пластической деформацией по длине конической части полуфабриката. На рис. 9б приведено распределение интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$  сдеформированного металла полуфабриката.



В стенке цилиндрической части получено  $\varepsilon_i=0,15$ , в стенке на радиусе скругления –  $\varepsilon_i=0,35$  с последующим увеличением до значения  $\varepsilon_i=0,58$  в области торца полуфабриката.

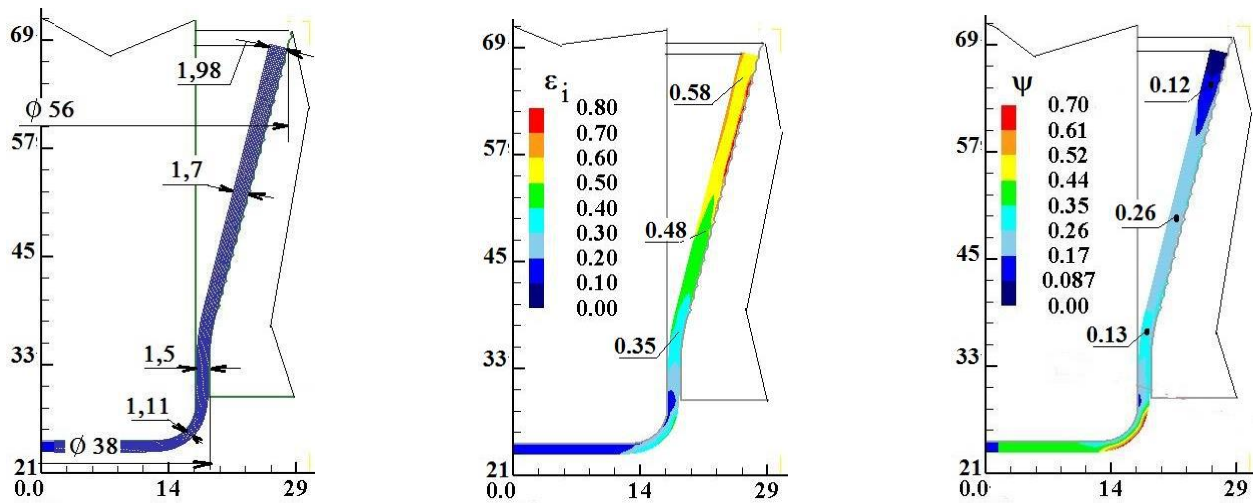


Рис. 9. Размеры полуфабриката (а), распределение интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$  (б) и степени использования ресурса пластичности  $\psi$  (в) в сформированном металле полуфабриката. Размеры в миллиметрах

Распределение степени использования ресурса пластичности  $\psi$  сформированного металла полуфабриката приведено на рис. 9в. В конической части полуфабриката получено максимальное значение  $\psi=0,26$ . Поэтому открываются возможности для дальнейшего холодного деформирования указанной части. На радиусе скругления пуансона у внешних слоев металла стенке исчерпанный ресурс пластичности достигает величины  $\psi=0,7$ . Однако, эта часть подлежит удалению при дальнейшей пробивке дна полуфабриката.

Следующий переход для изготовления соединительных элементов из полученного полуфабриката – пробивка донной части с раздачей конической части. Расчетные зависимости усилия пробивки с раздачей от перемещения пуансонов с разным углом конуса и форма сформированной заготовки в момент пробивки донной части пуансоном с  $\gamma=30^\circ$  показаны на рис. 10. Графики усилий имеют два максимума. Первый максимум имеет место при пробивке донной части и составляет 100 кН для рассмотренных пуансонов. На стадии раздачи усилия практически одинаковые и существенно отличаются на конечной стадии формообразования конических частей соединительных элементов.

На рис. 11 приведены размеры соединительных элементов, которые получены после пробивки дна с раздачей полуфабриката. После формообразования пуансоном с  $\gamma=30^\circ$  получен внешний диаметр торца элемента  $D_p=70$  мм. Коэффициент раздачи составил  $k_p=1,84$ . При этом незначительно уменьшилась толщина стенки конической части. Для пуансона с  $\gamma=40^\circ$  имеем  $D_p=76$  мм и  $k_p=2$ , а для пуансона с  $\gamma=50^\circ$  -  $D_p=80$  мм и  $k_p=2,1$ . Такие коэффициенты  $k_p$  раздачей в холодном состоянии трубных заготовок получить невозможно. Важным преимуществом раздачи полуфабрикатов, полученных вытяжкой, является получение соединительных элементов с толщиной стенки, не меньшей исходной толщины  $S_0$ . Даже после раздачи пуансоном с  $\gamma=50^\circ$  толщина стенки по длине элемента находится в пределах 1,5...1,67 мм. Максимальная величина исчерпанного ресурса пластичности сформированного металла в этом элементе составила  $\psi=0,6$ . Это открывает возможности дальнейшего увеличения коэффициентов раздачи и угла  $\gamma$  при формообразовании конических элементов.

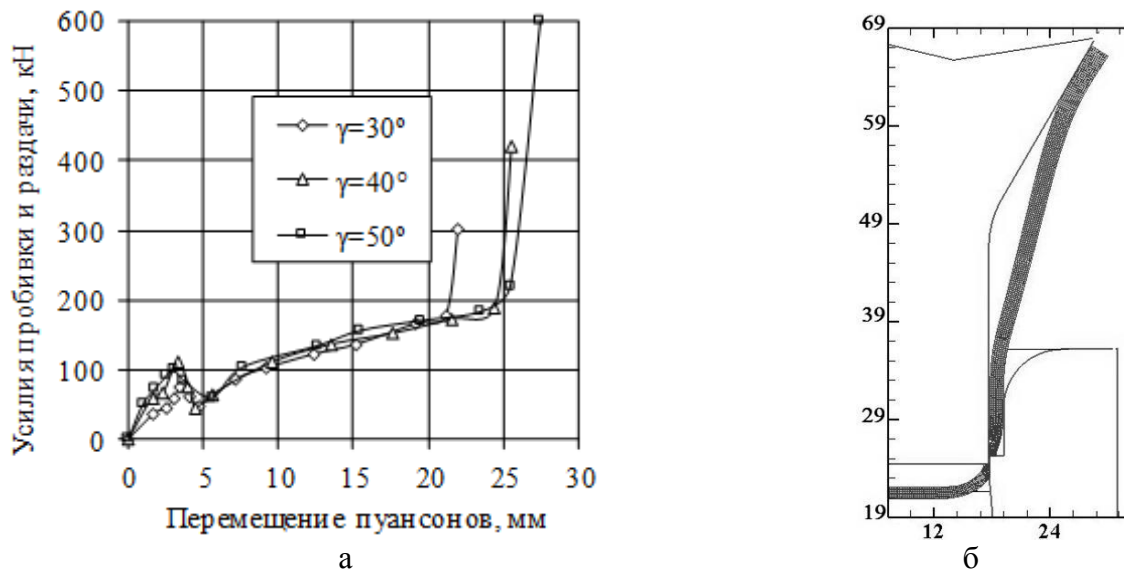


Рис. 10. Зависимости усилия пробивки с раздачей от перемещения пуансонов (а) и форма сформированной заготовки при пробивке дна пуансоном с  $\gamma=30^\circ$  (б)

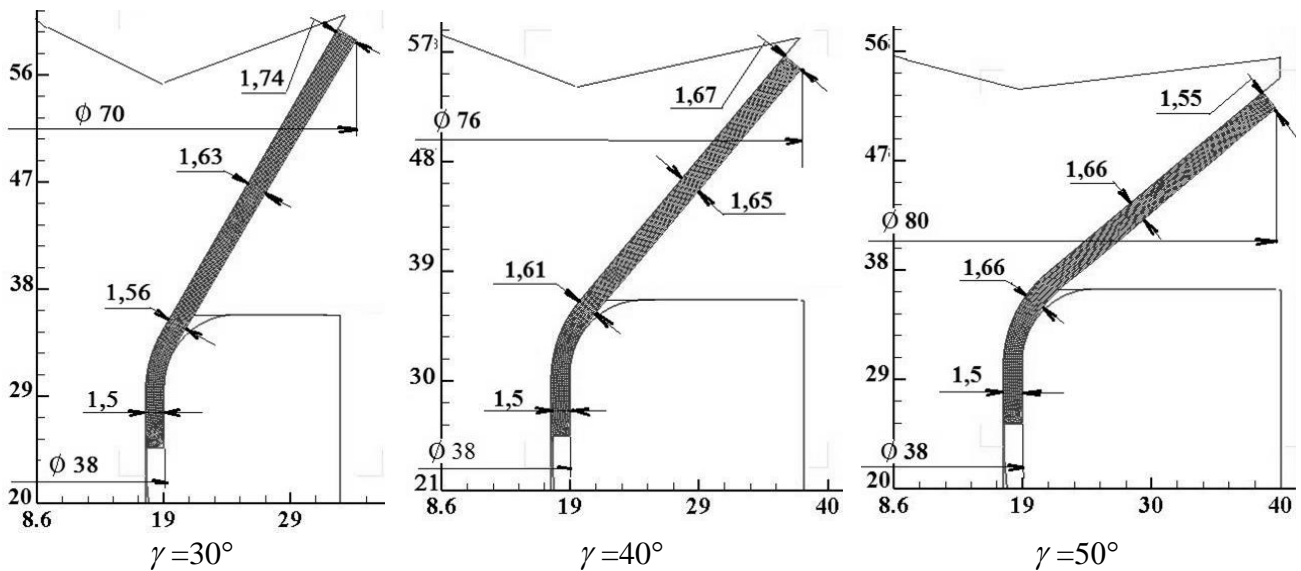


Рис. 11. Размеры соединительных элементов, которые получены пробивкой дна с раздачей коническими пуансонами с разным углом  $\gamma$

Утолщение стенки полуфабриката при вытяжке позволяет получить конический соединительный элемент с фланцем по схеме деформирования, которая включает пробивку дна, раздачу и формообразование фланца (см. рис. 3б). Компьютерным моделированием для пуансона с углом конуса  $\gamma=50^\circ$  установлена возможность получения такого элемента. Результаты расчетов приведены на рис. 12. Зависимость усилия деформирования от перемещения пуансона показана на рис. 12а. Если сравнивать с графиком усилия при формообразовании конического элемента таким пуансоном, то в данном случае увеличивается величина усилия в конце процесса и достигает значения 680 кН. Общий вид конического элемента с фланцем приведен на рис. 12б. На рис. 12в изображены конечные размеры элемента. Полученная толщина фланца несколько больше толщины исходной заготовки.



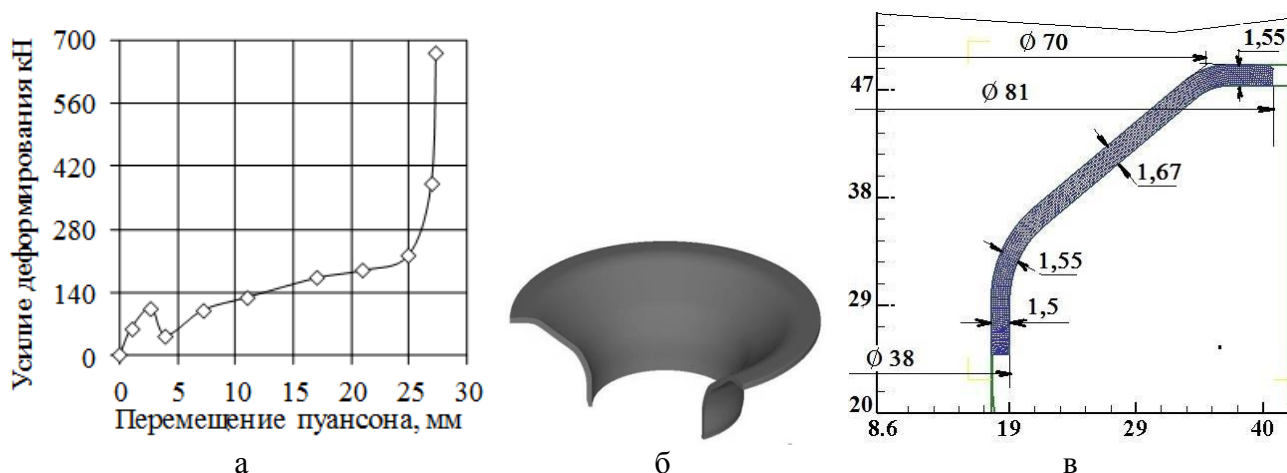


Рис. 12. Результаты расчетов получения конического элемента с фланцем:

а – зависимость усилия деформирования от перемещения пуансона с углом конуса  $\gamma = 50^\circ$ , б – общий вид соединительного элемента с фланцем в разрезе, в – конечные размеры элемента в миллиметрах

### ВЫВОДЫ

Расчетным анализом, с использованием метода конечных элементов, показана возможность получения конических соединительных элементов холодной раздачей трубной заготовки и полуфабриката, полученного вытяжкой из круглой листовой заготовки, которая дешевле трубной. Для трубных заготовок из стали AISI 316L (COLD) установлены предельные коэффициенты раздачи, форма и размеры элементов при формообразовании коническими пуансонами с разным углом конуса. Использование раздачи трубной заготовки приводит к значительному утонению стенки сформированной части, что может привести к уменьшению надежности сварных мест элементов с трубопроводами. Для указанной стали вытяжкой в конической матрице получен полуфабрикат с утолщенной стенкой конической части. Использование операций пробивки дна и раздачи полуфабриката пуансонами с разным углом конуса позволяет значительно увеличить коэффициент раздачи и получить конические соединительные элементы, элементы с фланцами с толщиной стенки по длине, которая больше толщины исходной заготовки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. / В.П. Романовский. – 6-е изд. пераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 520 с.
2. Аверкиев Ю.А. Холодная штамповка. Формоизменяющие операции / Ю.А. Аверкиев. – Изд.-во Ростовского ун-та, 1984. – 288 с.
3. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (предс.) и др. – М.: Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.
4. Аверкиев Ю.А. Холодная штамповка. / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Артес А.Э. Технологические процессы изготовления поковок из трубных заготовок / А.Э.Артес // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2003. – №11. – С. 25–31.
6. Исследование процесса раздачи трубных заготовок при штамповке изделий сконическими поверхностями / Е.Н. Сосенушкин, Е.А. Яновская, Д.В. Хачатрян [и др.] // Обработка материалов давлением.: сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2013. – №2 (35). – С. 135–141.
7. Калюжный А.В. Интенсификация холодной раздачи трубчатых заготовок коническим пуансоном / А.В. Калюжный // Вестник НТУ «ХПИ», Серия «Новые решения в современных технологиях». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – № 43. – С. 84–90.
8. Интенсификация процесса раздачи осесимметричных заготовок / А. В. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко [и др.] // Обработка материалов давлением: сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2014. – №1 (38). – С. 103–109.
9. Увеличение коэффициента раздачи при холодном формообразовании трубчатых заготовок / В. Л. Калюжный, Я. С. Олександренко, С. Ф. Сабол, И. П. Куликов // Обработка материалов давлением: сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2015. – № 1 (40). – С. 46–51.

10. Калюжный А.В. Использование давления жидкости при холодном формообразовании плоских фланцев на трубчатых заготовках / А.В. Калюжный, Д.С. Мехнин // Научные нотатки. Межвузовский сборник. – Луцк: НТУ, 2015. – №49. – С. 83–89.
11. Калюжный А.В. Интенсификация формообразующих операций холодной листовой штамповки / А.В. Калюжный, В.Л. Калюжный. – К: ООО «Сик Груп Украина», 2015. – 292 с.
12. Валиев С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых заготовок / С.А.Валиев. – М: Машиностроение, 1973. – 176 с.
13. Калюжный А.В. Уменьшение количества переходов вытяжки осесимметричных изделий с использованием матрицы специального профиля / А.В. Калюжный // Обработка материалов давлением : сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2013. – №4 (37). – С. 93–97.

## REFERENCES

1. Romanovskij V.P. Spravochnik po holodnoj shtampovke. / V.P. Romanovskij. – 6-e izd. perab. i dopoln. – L.: Mashinostroenie. Leningr. otd., 1979. – 520 s.
2. Averkiev Ju.A. Holodnaja shtampovka. Formoizmenjajushhie operacii / Ju.A. Averkiev. – Izd.-vo Rostovskogo un-ta, 1984. – 288 s.
3. Kovka i shtampovka: Spravochnik: V 4 t. T. 4. Listovaja shtampovka / Pod red. A.D. Matveeva; Red. sovet: E.I. Semenov (preds.) i dr. – M.: Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s.
4. Averkiev Ju.A. Holodnaja shtampovka. / Ju.A. Averkiev, A.Ju. Averkiev. – M: Mashinostroenie, 1989. – 304 s.
5. Artes A.Je. Tehnologicheskie processy izgotovlenija pokovok iz trubnyh zagotovok / A.Je.Artes // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem. – 2003. – №11. – S. 25–31.
6. Issledovanie processa razdachi trubnyh zagotovok pri shtampovke izdelij skonicheskimi poverhnostjami / E.N. Sosenushkin, E.A. Janovskaja, D.V. Hachatrjan [i dr.] // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauchn. tr. – Kramatorsk: DGMA, 2013. – №2 (35). – S. 135–141.
7. Kaljuzhnyj A.V. Intensifikacija holodnoj razdachi trubchatyh zagotovok konicheskim puansonom / A.V. Kaljuzhnyj // Vestnik NTU «HPI», Serija «Novye reshenija v sovremennyh tehnologijah». – Har'kov: NTU «HPI», 2013. – № 43. – S. 84–90.
8. Intensifikacija processa razdachi osesimmetrichnyh zagotovok / A. V. Kaljuzhnyj, V. V. Pimanov, Ja. S. Oleksandrenko [i dr.] // Obrabotka materialov davleniem: sb. nauchn. tr. – Kramatorsk: DGMA, 2014. – №1 (38). – S. 103–109.
9. Uvelichenie koeficienta razdachi pri holodnom formoobrazovanii trubchatyh zagotovok / V. L Kaljuzhnyj, Ja. S. Oleksandrenko, S. F. Sabol, I. P. Kulikov // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauchn. tr. – Kramatorsk: DGMA, 2015. – № 1 (40). – S. 46–51.
10. Kaljuzhnyj A.V. Ispol'zovanie davlenija zhidkosti pri holodnom formoobrazovanii ploskih flancev na trubchatyh zagotovkah / A.V. Kaljuzhnyj, D.S. Mehnin // Nauchnye notatki. Mezhuuzovskij sbornik. – Luck: NTU, 2015. – №49. – S. 83–89.
11. Kaljuzhnyj A.V. Intensifikacija formoobrazujushchih operacij holodnoj listovoj shtampovki / A.V. Kaljuzhnyj, V.L. Kaljuzhnyj. – К: ООО «Сик Груп Украина», 2015. – 292 с.
12. Valiev S.A. Kombinirovannaja glubokaja vytjazhka listovyh zagotovok / S.A.Valiev. – М: Mashinostroenie, 1973. – 176 s.
13. 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. tr. – Kramatorsk: DGMA, 2013. – №4 (37). – S. 93–97.

Калюжный О. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ДиПМиСМ НТУУ «КПИ»

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

E-mail: Av-k@ukr.net

Статья поступила в редакцию 21.03.2016 г.