

УДК 621.983

О. В. Калюжний, Д. С. Мехнін*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»***ВИКОРИСТАННЯ ТИСКУ РІДИНИ ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМОУТВОРЕННІ ПІД КУТОМ ПЛОСКИХ ФЛАНЦІВ НА ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВКАХ**

Приведені результати дослідження методом скінченних елементів холодного формоутворення плоских фланців, які розташовані під кутом до вісі трубчастої заготовки із нержавіючої сталі. Фланці отримують шляхом роздачі заготовки з дією тиску рідини на внутрішню її поверхню. Одночасно з роздачею за допомогою прикладання осевих зусиль до торців заготовки виконується осаджування zdeформованої частини заготовки з формоутворенням фланця. В подальшому виконується розрізання по торцю фланця на трубчастій заготовці з отриманням двох деталей з плоскими фланцями, які розташовані під кутом. Встановлено величину тиску рідини для забезпечення роздачі заготовки та запобігання втрати стійкості циліндричної частини заготовки при дії осевого зусилля. Отримані залежність зусилля формоутворення від переміщення деформуючого інструменту, розподіли напружень та деформацій в zdeформованій частині заготовки та визначені кінцеві форма і розміри деталей.

Ключові слова: трубчаста заготовка, роздача з осаджуванням, тиск рідини, плоскі фланці, метод скінченних елементів, зусилля формоутворення, кінцеві форма та розміри, інтенсивність напружень та деформації, ресурс пластичності

Рис. 8. Літ. 8.

В. Л. Калюжний, Д. С. Мехнін**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ ХОЛОДНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПОД УГЛОМ ПЛОСКИХ ФЛАНЦЕВ НА ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВКАХ**

Приведены результаты исследования методом конечных элементов холодного формообразования плоских фланцев, которые расположены под углом на трубчатых заготовках из нержавеющей стали. Фланцы получают путем раздачи заготовки с действием давления жидкости на внутреннюю поверхность. Одновременно с раздачей с помощью приложения осевых усилий к торцам заготовки выполняется осадка деформированной части заготовки с формообразованием фланца. В дальнейшем выполняется разрезка по торцу фланца на трубчатой заготовке с получением двух деталей с плоскими фланцами, которые расположены под углом. Установлено величину давления жидкости для обеспечения раздачи заготовки и предотвращения потери устойчивости цилиндрической части заготовки при действии осевого усилия. Получены зависимость усилия формообразования от перемещения деформирующего инструмента, распределения напряжений и деформаций в деформированной части заготовки и определены конечные форма и размеры деталей.

Ключевые слова: трубчатая заготовка, раздача с осадкой, давление жидкости, плоские фланцы, метод конечных элементов, усилия формообразования, конечные форма и размеры, интенсивность напряжений и деформаций, ресурс пластичности.

V.L. Kalyuzhny, D.S. Mekhnin**FLUID PRESSURE USING IN COLD SHAPING OF ANGLE FLAT FLANGES ON THE TUBULAR BILLETS**

Shows the results of research using finite element method of cold forming the flat flanges, which are angled on tubular billets made from stainless steel. The flanges is produced by hole expansion of the tubular workpiece with the action of the fluid pressure on the inner surface. Simultaneously with the hole expansion by means of the application of axial forces to the edges of the tubular billet is performed precipitate deformed shaping of the billet with the forming of the flange. Subsequently, cutting is performed on the edge of the flange on a tubular workpiece to produce the two parts with flat flanges, which are disposed at an angle. Established the amount of liquid pressure to provide hole expansion of the workpiece and to prevent the loss of stability of the cylindrical part of the billet by the action of an axial force. Was obtained the dependence of the deforming force by the movement of the deforming tool, the distribution of stress and strain in the deformed part of the workpiece and determine the final shape and size of details.

Keywords: tubular billet, hole expansion with precipitation, liquid pressure, flat flanges, finite element method, the deformation force, the final shape and dimensions, the intensity of the stresses and strains, plasticity resource.

У системах трубопроводів широко використовують з'єднувальні елементи у вигляді різноманітних перехідників та втулок з фланцями. Для утворення роз'ємних і нероз'ємних з'єднань на трубопроводах фланці можуть бути розташовані, як перпендикулярно до вісі заготовки, так і під певним кутом. Виробництво перехідників та втулок з фланцями з трубчастих заготовок виконують за допомогою операції роздачі конусним пуансоном та подальшого осаджування zdeформованих частин заготовок. Приклади з'єднувальних елементів, вихідна трубчаста заготовка та формоутворення елементів показані на рис. 1. З'єднувальний елемент у вигляді перехідника та втулки з фланцем зображені на рис. 1а і 1б відповідно. На рис. 1в наведена

вихідна трубчаста заготовка зі зрізаним торцем під кутом β , яку використовують для виготовлення з'єднувальних елементів. На першому переході (рис. 1г) заготовку 1 встановлюють на плиті 2 та виконують кутову роздачу пуансоном 3[1]. На другому переході (рис. 1д) напівфабрикат, який отримують роздачею, встановлюють на плиті 2матриці 3. За допомогою пуансону 4 виконують осаджування zdeформованої частини. При виконанні операцій кутової роздачі по причині значної нерівномірності деформацій має місце потоншення стінки zdeформованої частини заготовки, величина якого різна в двох взаємоперпендикулярних напрямках. Потоншення збільшується при подальшому осаджуванні. Потоншення при формоутворенні в холодному стані приводить до виникнення меридіональних тріщин на заготовці. Використання місцевого підігріву заготовок дозволяє збільшити пластичність металу та ступінь деформації. Однак, це приводить до зростання собівартості виробів.

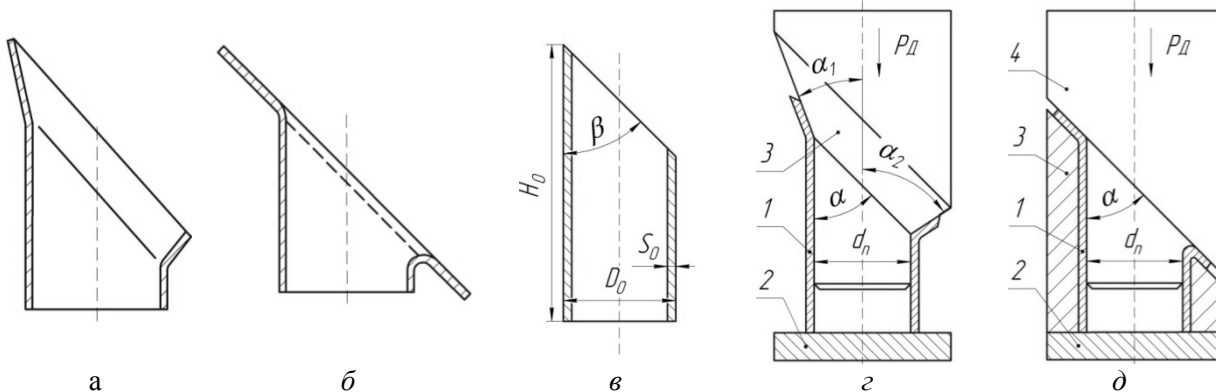


Рис. 1. З'єднувальні елементи, вихідна трубчаста заготовка та схеми отримання з'єднувальних елементів: а і б – з'єднувальні елементи, в – вихідна трубчаста заготовка, г – кутова роздача трубчастої заготовки, д – осаджування фланцю

Теоретичні та експериментальні дослідження гарячого та холодного формоутворення з'єднувальних елементів в основному направлені на визначення максимального ступеню деформації, зусилля деформування [1-8]. Мало уваги приділяється формі та розмірах zdeформованих частин трубчастих заготовок. Також актуальними задачами при холодному формоутворенні з'єднувальних елементів залишаються пошуки шляхів зменшення потоншення та збільшення ступеню деформації на кожному переході штампування.

Мета роботи. Метою роботи є збільшення ступеню деформації при холодному формоутворенні з'єднувальних елементів у вигляді втулок з фланцями, що розташовані під кутом до вісі заготовки.

Поставлену задачу можна вирішити шляхом використання тиску за допомогою рідини при деформуванні трубчастої заготовки. На рис. 2 зображена схема штампу для отримання фланцю на трубчастій заготовці при дії осьового зусилля на торці та диференційованого тиску рідини на внутрішню поверхню заготовки. Вихідний стан перед початком деформування показаний на рис. 2а. Штмп складається з контейнера 1, в якому розміщений з можливістю переміщення ступінчатий плунжер 2 з виштовхувачем 3, в якому виконані отвори 4. Плунжер має діаметри D і D_1 . Для запобігання витрат рідини в плунжері 2 встановлені ущільнення 5 і 6. В нижній частині контейнера 1 розміщена заглушка 7 з ущільненнями 8 і 9. Заглушка 7 з контейнером 1 та плунжером 2 утворює порожнину 10. Контейнер 1 розміщений та зафіксований на плиті 11. В вихідному стані плунжер 2 виступом спирається на контейнер 1. В плунжері 2 на виштовхувачі 3 розміщують вихідну трубчасту заготовку 12.

В заготовку 12 заливають робочу рідину, яка через отвори 4 вільно проходить в порожнину 10. При опусканні пуансону 13 із штовхачем 14, який має отвори 15, останній спирається на заготовку 12 та зміщує її з плунжером 2 вниз. У пуансоні 13 розміщені ущільнення 16 та 17. При цьому рідина з порожнини 10 через отвори 4 у виштовхувачі 3 та отвори 15 у штовхачі 14 витискується у порожнину 18, яку утворює пуансон 13 та контейнер 1, і через отвори 19 заповнює резервуар 20. Коли ущільнення 17 перекриють отвори 19, все навантаження P_d від пуансону 13 через заготовку 12, виштовхувач 3 та плунжер 2 витримує рідина у порожнині 10, що приводить до виникнення в ній тиску величиною p . Величина тиску визначається площею нижнього торця

плунжера 2. Від тиску рідини та різниці площ плунжера виникає осьове зусилля P_{oc} . Це

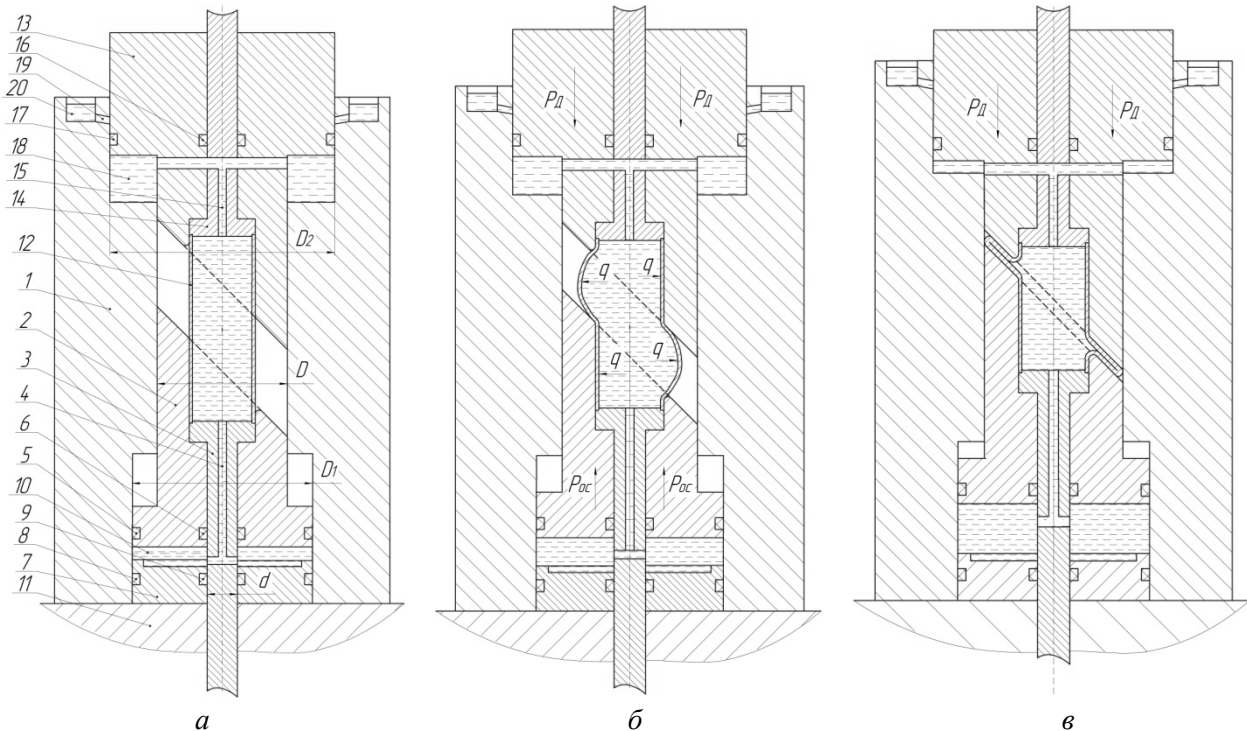


Рис. 2. Схема штампу для отримання фланцю на трубчастій заготовці: а – на початку деформування заготовки, б – в процесі деформування, в – в кінці деформування

зусилля направлене в сторону меншої площі плунжера 2 і дорівнює $P_{oc} = q\pi(D_1^2 - d^2)/4$. При досягненні зусиллям P_{oc} значення, яке необхідне для деформування трубчастої заготовки, починається формоутворення фланцю (рис. 2б). При цьому, на внутрішню поверхню циліндричної частини заготовки діє тиск рідини величиною q , що запобігає втраті стійкості стінки. Такий же тиск прикладається на внутрішню поверхню частини заготовки, яка знаходиться між плунжером 2 та пуансоном 13, що сприяє формоутворенню фланця та зменшує потоншення стінки. Таким чином, деформування заготовки виконується одночасно пуансоном 13 і плунжером 2, які зміщуються назустріч один одному. Рух плунжера 2 вгору забезпечується витисканням рідини з порожнини 18 в порожнину 10. Для забезпечення однакових швидкостей пуансона 13 і плунжера 2 величина діаметру D_2 повинна бути: $D_2 = \sqrt{D_1^2 - d^2 + D^2}$. При деформуванні трубчастої заготовки метал зміцнюється, підвищується опір деформуванню, що потребує збільшення величини тиску рідини q . Зростання опору деформуванню приводить до збільшення зусилля P_{oc} , а також величини тиску q . В кінці процесу формоутворення отримують фланець під кутом до вісі заготовки (рис. 2в). Виштовхування виробу виконується за допомогою виштовхувача 3, при цьому плунжер 2 виступом спирається на контейнер 1, а рідина перетікає в порожнину 10. Виріб після роздачі обробленням механічним шляхом по торцю фланця розділяють на дві деталі (рис. 3а) і в результаті отримують два перехідники для з'єднання трубопроводів (рис. 3б).

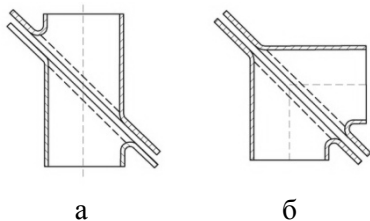


Рис. 3. Вироби після оброблення торця фланця механічним шляхом (а) та два отриманих перехідники (б)

Для визначення параметрів утворення фланця на трубчастій заготовці був проведений розрахунковий аналіз з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) та програми DEFORM. Враховано швидкість деформування, тертя на контактуючих поверхнях, дія тиску рідини, величина якого змінювалася пропорційно зусиллю деформування, а також зміцнення та можливість руйнування металу при формоутворенні.

Результати досліджень. Холодний роздачі з осаджуванням підлягала трубчаста заготовка із нержавіючої сталі AISI 321 висотою $H_0 = 120$ міліметрів (мм), зовнішнім

діаметром $D_0=42$ мм, товщиною стінки $S_0=1,5$ мм. Кут нахилу торців пуансону та плунжера складає $\alpha = 45^\circ$.

Встановлено максимальну величину тиску рідини $p=250$ МПа, яка забезпечила формоутворення фланця без втрати стійкості циліндричної частини заготовки. Силові режими роздачі з осаджуванням зображені на рис. 4. Залежність зусилля роздачі з осаджуванням від переміщення пуансона та плунжера приведена на рис. 4а. Зусилля постійно зростає. Максимальне зусилля деформування заготовки складало 474 кН. Графік зміни тиску рідини, який діяв на

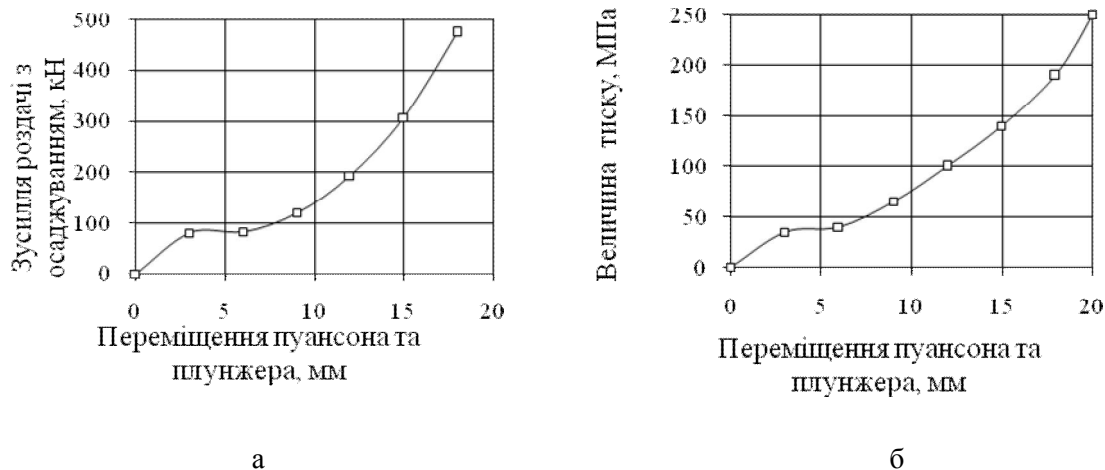


Рис. 4. Силові режими роздачі з осаджуванням; а - залежність зусилля роздачі з осаджуванням від переміщення пуансона та плунжера, б – зміна тиску рідини від переміщення пуансона та плунжера

внутрішню поверхню трубчастої заготовки, від переміщення пуансона та плунжера, зображений на рис. 4б.

На рис.5 показані загальні вигляди виробу в розрізі після роздачі з осаджуванням, який отриманий при дії тиску малої величини. При цьому має місце втрата стійкості циліндричної частини заготовки. Прикладання тиску рідини величиною 250 МПа приводить до отримання виробу без втрати стійкості стінки (рис. 6).

Форма та розміри zdeформованої заготовки показані на рис.7. В розрізі по найбільшому розміру фланця 89 мм (рис. 7а) має місце потоншення стінки фланця з вихідної товщини 1,5 мм до 1,28 мм. В розрізі по найменшому розміру фланця 67 мм стінка фланця потовщується до величини 1,75 мм на торці. Це пов'язано з нерівномірністю деформацій, яка виникає в двох взаємно перпендикулярних напрямках при роздачі з осаджуванням, а також з величинами радіусів переходу циліндричних частин в zdeформовану частину заготовки.

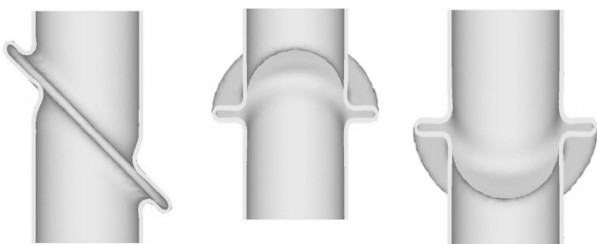


Рис. 5. Загальні вигляди в розрізі виробу, який отриманий при дії тиску малої величини

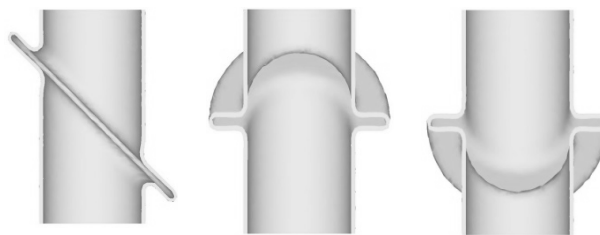


Рис. 6. Загальні вигляди в розрізі виробу, який отриманий при дії тиску величиною 250 МПа

Також моделюванням процесу роздачі з осаджуванням встановлений напружено-деформований стан у zdeформованій заготовці, що дозволило виявити ступінь використання ресурсу пластичності ψ zdeформованого металу.

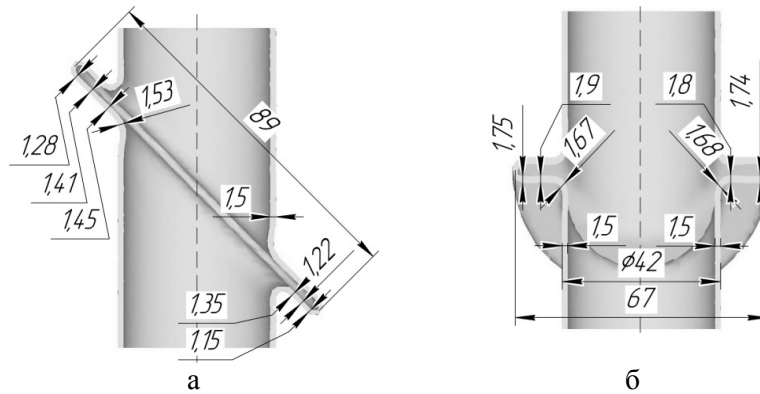


Рис. 7 – Форма та розміри здеформованої заготовки: а – в розрізі по найбільшому розміру фланця, б – в розрізі по найменшому розміру фланця

На рис. 8 приведені розподіли інтенсивності деформацій ε_i , інтенсивності напружень σ_i (в МПа) та ступеню використання ресурсу пластичності ψ , які отримані у здеформованих заготовках та наведені в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ε_i (рис. 8а і 8г). У здеформованій заготовці має місце суттєва нерівномірність розподілу ε_i по периметру фланця та по довжині фланця. Найбільші значення ε_i отримані на торці фланця. Причому в одному напрямку величина $\varepsilon_i = 0,67$, а у напрямку, який перпендикулярний вказаному, величини інтенсивності деформацій по довжині здеформованої частини знаходяться в межах $\varepsilon_i = 0,43$.

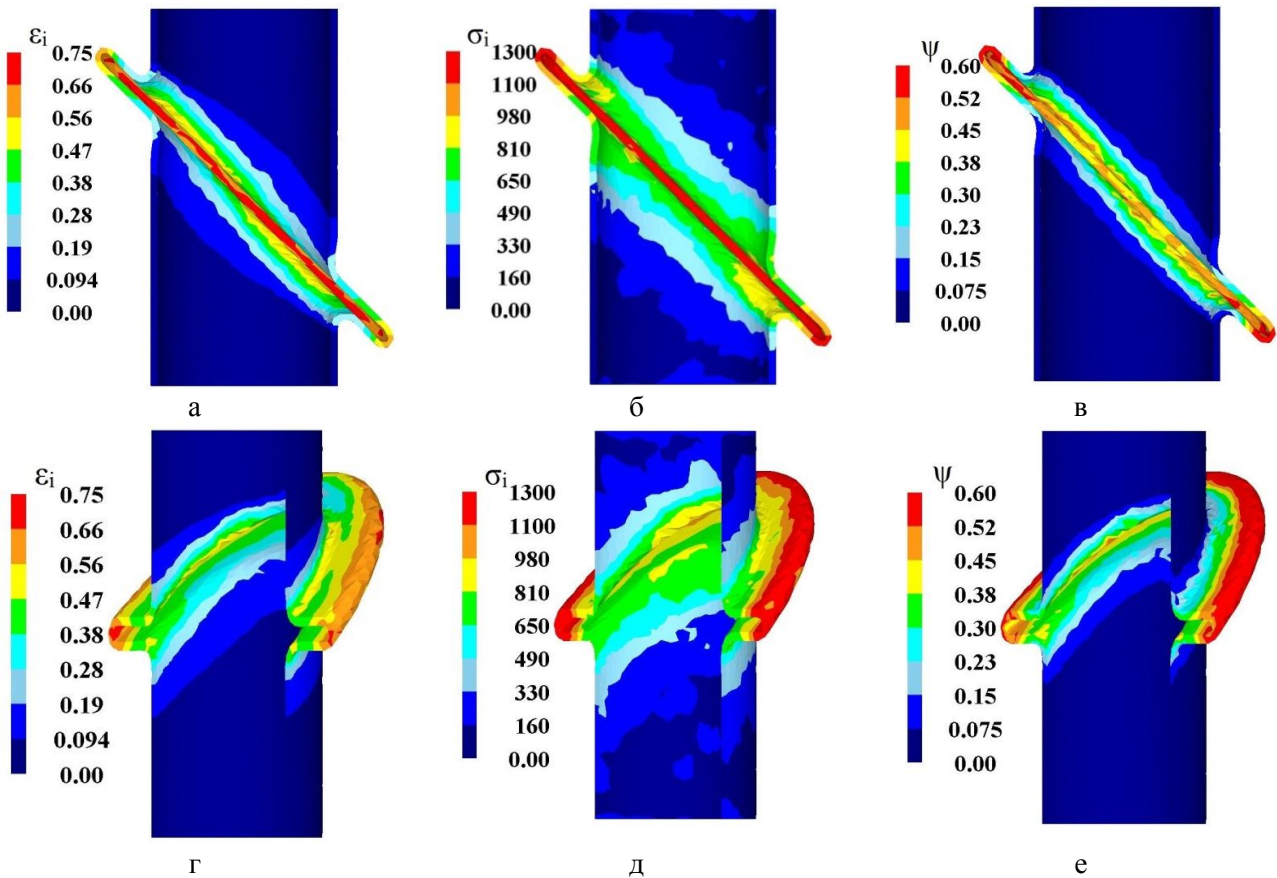


Рис. 8. Розподіли інтенсивності деформацій ε_i , інтенсивності напружень σ_i (в МПа) ступеню використання ресурсу пластичності ψ в здеформованих заготовках в двох взаємно перпендикулярних напрямках

Результатом такого пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією є значна нерівномірність розподілів інтенсивності напружень σ_i (рис. 8 б і 8д) та ступеню використання ресурсу пластичності ψ (рис. 8 і 8е) у здеформованому металі. По використаному ресурсу пластичності (при $\psi=1$ починається руйнування здеформованого металу) можна прогнозувати отримання максимальних розмірів фланця при роздачі з осаджуванням. По довжині здеформованої частини в одному напрямку максимальна величина ψ знаходиться в межах $\psi = 0,52-0,6$. На торці фланця в протилежному напрямку величина $\psi = 0,35$. Таким чином, є можливість отримувати більші розміри фланця шляхом холодної роздачі з дією тиску рідини.

Висновки. Показана можливість холодною роздачею з осаджуванням трубчастої заготовки з дією тиску рідини на внутрішню поверхню отримання двох перехідників для з'єднання трубопроводів. Моделюванням МСЕ встановлені величина тиску рідини, яка забезпечує формоутворення без втрати стійкості стінки заготовки, зусилля деформування, напружено-деформований стан у здеформованому металі та кінцеві форма і розміри виробів.

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. Т4. Листовая штамповка / Под ред. А. Д. Матвеева; Ред. совет Е. И. Семенов и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.
2. Артес А. Э. Технологические процессы изготовления поковок из трубных заготовок / А.Э.Артес // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2003. № 11. – С. 25–31.
3. Артес А. Э. Групповые технологические процессы штамповки трубных переходов в мелкосерийном и серийном производстве / А. Э. Артес, Е. Н. Сосенушкин, В. В. Третьюхин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2007. № 7. – С. 18–24.
4. Крылов Д. В. Математическая модель операции раздачи трубных заготовок из анизотропных материалов / Д. В. Крылов, С. С. Яковлев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. № 1, 2011. – С. 79–88.
5. Яковлев С. С. Технологические параметры операций обжима и раздачи трубных заготовок из анизотропных материалов // С. С. Яковлев, К. С. Ремнев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. № 2. – С. 513–526.
6. Калюжный О. В. Интенсификация процесса раздачи осесимметричных заготовок / О. В. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко и др. // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2014. №1 (38). – С. 103–109.
7. Олександренко Я. С. Влияние угла конуса спрофилированного пуансона на силовые режимы и качество изделий при раздаче трубчатых заготовок из стали 12Х18Н10Т / Я. С. Олександренко, И. П. Куликов // Сборник научных трудов (серия отраслевого машиностроения и строительства). – Полтава: НТУ, 2014. – №2(41). – С. 259–265.
8. Сосенушкин Е. Н. Исследование неравномерной раздачи трубных заготовок / Е. Н. Сосенушкин, И. Е. Смолович, Е. А. Яновская // Харків, Вісник НТУУ «ХПІ», 2012. № 47. – С. 184–192.

Стаття прийнята до друку 12.04.2015.