

УДК.621.774.77

Калюжний В. Л.  
 Мехнін Д. С.  
 Вихованець І. В.  
 Куліков І. П.

### ХОЛОДНЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПІД КУТОМ ПЛОСКИХ ФЛАНЦІВ НА ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВКАХ З НЕРЖАВЮЧОЇ СТАЛІ

У системах трубопроводів широко використовуються з'єднувальні елементи у вигляді втулок з фланцями, які розташовані, як перпендикулярно до вісі заготовки, так і під певним кутом. Послідовність виготовлення деталей з фланцями, які розташовані під кутом до вісі заготовки зображена на рис. 1. Вихідна трубчаста заготовка з кутом зрізу  $\beta$  приведена на рис. 1, а. Схема першого переходу кутової роздачі з позначеннями зображена на рис. 1, б [1].

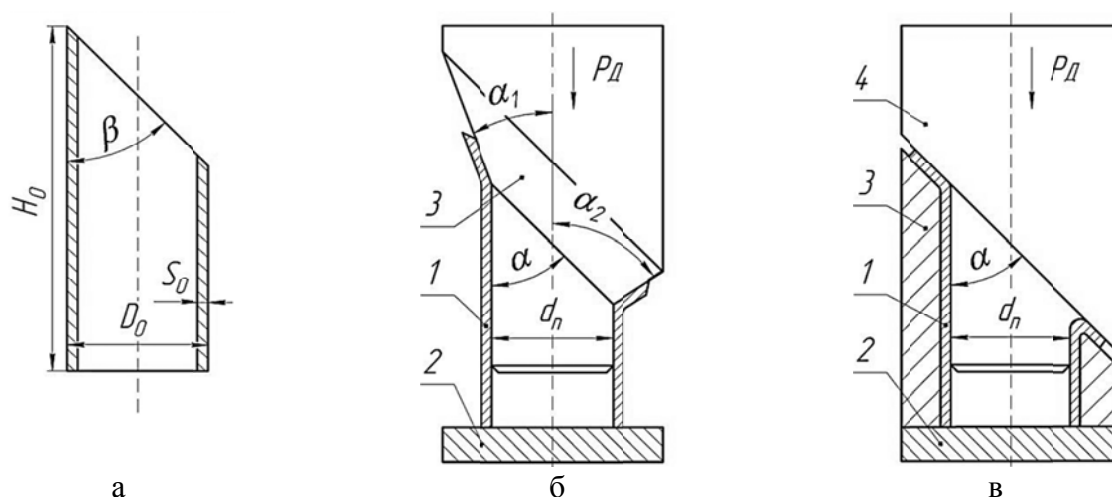


Рис. 1. Послідовність холодного формоутворення під кутом фланців на трубчастих головках:

а – вихідна трубчаста заготовка, б – кутова роздача трубчастої заготовки, в – осаджування фланцю

Заготовка 1, яку встановлюють на плиту 2, деформується зусиллям  $P_A$  за допомогою пуансону 3. При кутовій роздачі має місце потоншення стінки zdeформованої частини заготовки. Значна нерівномірність деформацій при формоутворенні приводить до отримання напівфабрикату, який має різну довжину та товщину стінки по периметру zdeформованої частини. Для збереження ресурсу пластичності zdeформованого металу під подальше осаджування кутову роздачу виконують з місцевим підігрівом трубчастої заготовки. На рис. 1, в наведена схема формоутворення плоского фланцю шляхом осаджування. Напівфабрикат 1, який отриманий роздачею, розміщують на плиті 2 в матриці 3. Деформування зусиллям  $P_A$  виконують за допомогою пуансону 4. Осаджування zdeформованої частини напівфабрикату приводить до подальшого збільшення потоншення стінки фланцю.

В теперішній час проводяться дослідження в напрямку інтенсифікації процесів гарячої та холодної роздачі та штампування деталей трубопровідної арматури [2–7]. Однак актуальними задачами залишаються розширення можливостей холодної роздачі при формоутворенні фланцю на трубчастих заготовках, що забезпечить збільшення граничних деформацій, та проведення досліджень в напрямку підвищення точності форми і розмірів виробів. В літературних джерелах недостатньо даних по впливу кута зрізу вихідної заготовки на форму

та розміри фланців, напружено-деформований стан і вичерпаний ресурс пластичності здеформованого металу в напівфабрикатах і кінцевих виробих після холодного формоутворення фланців кутовою роздачею з подальшим осаджуванням.

Метою роботи є визначення методом скінченних елементів (МСЕ) впливу кута зрізу вихідної трубчастої заготовки на силові режими, формозміну металу при кутовій роздачі та подальшому осаджуванні для отримання плоских фланців, що розташовані під кутом  $45^\circ$  до вісі заготовки.

В розрахунковому аналізі за допомогою МСЕ в пакеті DEFORM були використані наступні дані. Деформуванню в холодному стані підлягали вихідні заготовки із нержавіючої сталі 12X18H10T з розмірами  $D_o = 42$  міліметри (мм),  $H_o = 100$  мм,  $S_o = 1,5$  мм. Торець вихідних заготовок був зрізаний під кутом  $\beta = 45^\circ$ , який найбільше розповсюджений, та під іншими кутами  $\beta$  для встановлення його впливу на форму та розміри фланців. Пуансон для роздачі мав кути нахилу  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\alpha_1 = 35^\circ$ , а кут  $\alpha_2 = 55^\circ$ . Для вказаних розмірів заготовки діаметр пуансону  $d_i = 39$  мм. При моделюванні враховано тертя на контактуючих поверхнях, швидкість деформування, зміцнення здеформованого металу. Процеси кутової роздачі та подальшого осаджування при розрахунку розподілялися на певну кількість кроків навантаження для виявлення моментів втрати стійкості циліндричної частини заготовки та початку руйнування здеформованого металу.

Моделювання кутової роздачі закінчували на початку втрати стійкості стінки циліндричної частини заготовки. Встановлено, що раціональну форму та розміри фланцю у виробі забезпечує вихідна трубчаста заготовка з кутом зрізу  $\beta = 65^\circ$ . Результати розрахунків будуть наведені для цього кута зрізу заготовки та кута  $\beta = 45^\circ$ . Силові режими роздачі та загальні вигляди виробів напівфабрикатів після роздачі наведені на рис. 2. Залежності зусилля роздачі від переміщення пуансонів приведені на рис. 2, а. В процесі кутової роздачі зусилля постійно зростає. Максимальне зусилля роздачі заготовки з  $\beta = 45^\circ$  складає 67,5 кН при переміщенні пуансону 20 мм, а для роздачі заготовки з  $\beta = 65^\circ$  вказані величини мають значення 78,9 кН та 30 мм відповідно. На рис. 2, б в двох проекціях показані загальні вигляди напівфабрикату після роздачі з кутом зрізу заготовки  $\beta = 45^\circ$ , а на рис. 2, в такі вигляди зображені для роздачі заготовки з  $\beta = 65^\circ$ . Напівфабрикат, який отриманий роздачею заготовки з  $\beta = 45^\circ$ , має в одному напрямку розміри, що відрізняються в 2 рази в одному із напрямків. Деформування заготовки з  $\beta = 65^\circ$  приводить до практично однакових розмірів по периметру здеформованої частини напівфабрикату. Як покажуть подальші розрахунки формоутворення фланців, це суттєво впливає на форму та розміри фланцю після осаджування.

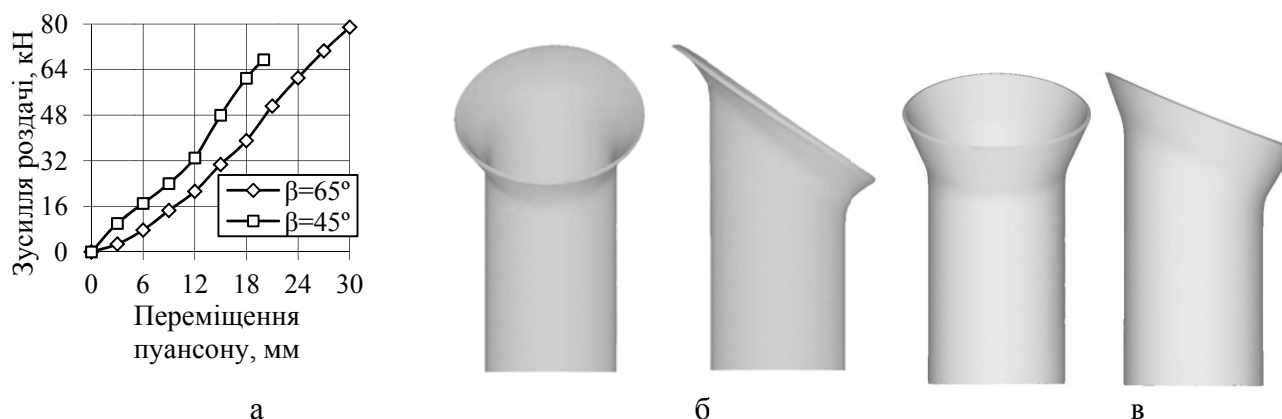


Рис. 2. Силові режими роздачі та загальні вигляди напівфабрикатів після роздачі:

а – залежності зусилля роздачі від переміщення пуансонів, б – вигляди напівфабрикату після роздачі заготовки з  $\beta = 45^\circ$ , в – вигляди напівфабрикату після роздачі заготовки з  $\beta = 65^\circ$

Також моделюванням роздачі встановлений напружено-деформований стан у напівфабрикатах, що дозволило виявити ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу. На рис. 3 приведені розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (в МПа) та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$ , які отримані у напівфабрикатах після роздачі заготовок з різним кутом  $\beta$ . Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ . У напівфабрикаті після роздачі заготовки з  $\beta = 45^\circ$  має місце суттєва нерівномірність розподілу  $\varepsilon_i$  по периметру та по довжині здеформованої частини. В одному напрямку на одній стороні здеформованої частини інтенсивність деформацій знаходиться в межах  $\varepsilon_i = 0,29-0,95$ . Максимальне значення  $\varepsilon_i$  має зона торця напівфабрикату. На протилежній стороні отримано  $\varepsilon_i = 0,14-0,29$ . У напрямку, який перпендикулярний вказаному, величини інтенсивності деформацій по довжині здеформованої частини знаходяться в межах  $\varepsilon_i = 0,14-0,43$ . Результатом такого пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією є значна нерівномірність розподілів інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (рис. 3, б) та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  (рис. 3, в) у здеформованому металі. По довжині здеформованої частини в одному напрямку вичерпаний ресурс пластичності знаходиться в межах  $\psi = 0,29-0,75$ , а на протилежній довжині здеформованої частини вичерпаний ресурс складає всього  $\psi = 0,00-0,19$ . По довжині здеформованої частини в перпендикулярному напрямку отримано  $\psi = 0,19-0,28$ .

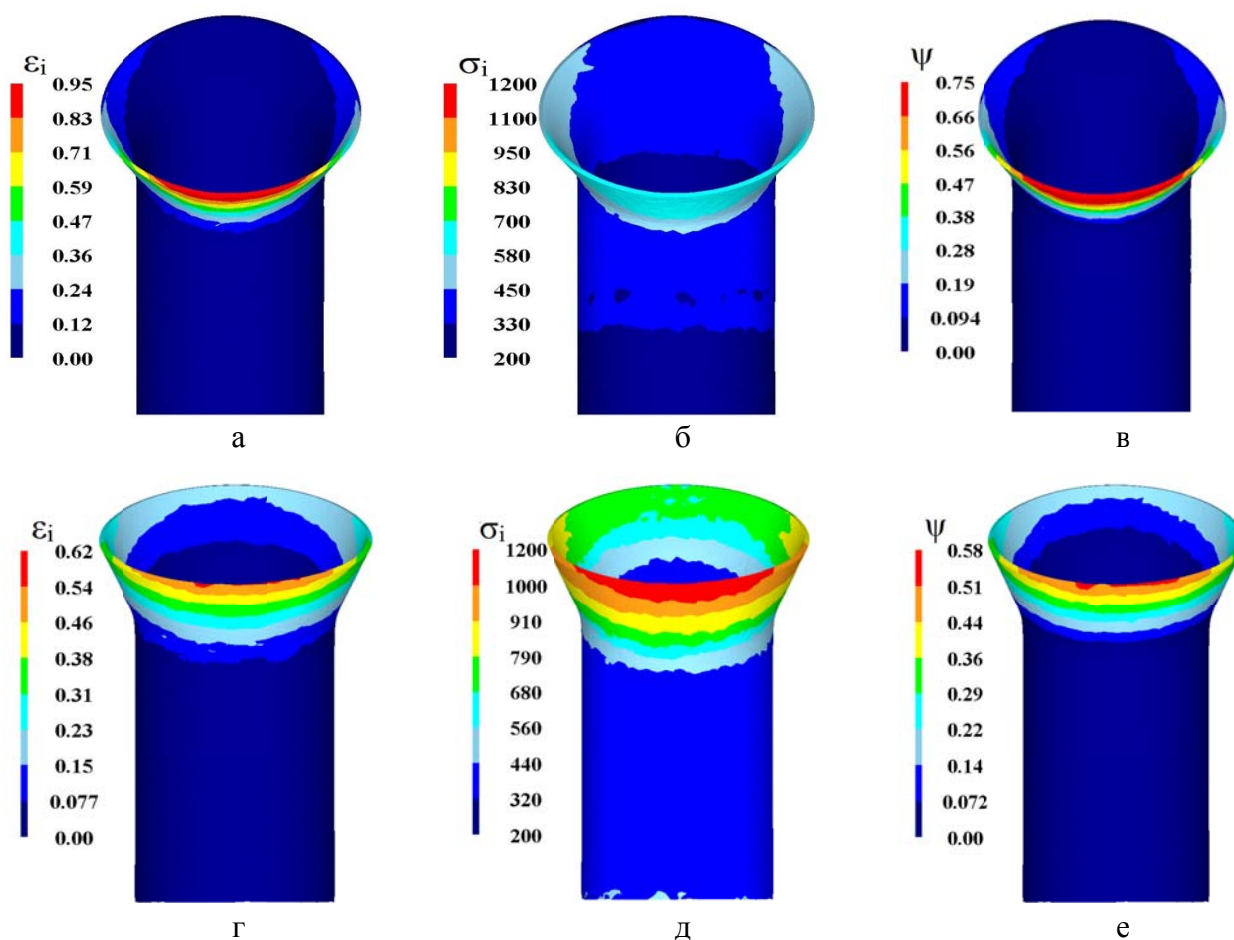


Рис. 3. Розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (в МПа) та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$ :

а, б і в – після роздачі заготовки з  $\beta = 45^\circ$ ; г, д і е – після роздачі заготовки з  $\beta = 65^\circ$

Використання заготовки з  $\beta = 65^\circ$  приводить до суттєвого зменшення величин та нерівномірності розподілу інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , як по периметру, так і по довжині здеформованої частини напівфабрикату (рис. 3, г). Максимальна величина  $\varepsilon_i$  знаходиться в межах  $\varepsilon_i = 0,46-0,54$ , що практично в 2 рази менше в порівнянні з попереднім випадком. По довжині здеформованої частини в одному напрямку досягнуті величини інтенсивності деформацій знаходяться в межах  $\varepsilon_i = 0,15-0,56$ , а на протилежній стороні –  $\varepsilon_i = 0,15-0,31$ . У напрямку, який перпендикулярний наведеному, по довжині здеформованої частини інтенсивність деформацій знаходиться в межах  $\varepsilon_i = 0,15-0,38$ . Результатом зменшення величин та нерівномірності розподілу  $\varepsilon_i$  у здеформованій частині напівфабрикату приводить до зниження нерівномірності інтенсивності напружень (рис. 3, д) та нерівномірності ступеню використання ресурсу пластичності (рис. 3, е) у здеформованому металі. Особливо велике значення має зменшення вичерпаного ресурсу пластичності. Максимальні значення вичерпаного ресурсу досягають  $\psi = 0,44-0,51$ , що в 1,5 рази менше, чим у напівфабрикаті після роздачі заготовки з  $\beta = 45^\circ$ . Це суттєво зменшує вірогідність утворення тріщин при подальшому формоутворенні фланцю осаджуванням.

З урахуванням накопичених напружень та деформацій у напівфабрикатах після роздачі було проведено моделювання наступного переходу осаджування фланцю (див. рис. 1, в). На рис. 4 показані силові режими осаджування та загальні вигляди виробів в двох проекціях після осаджування. Залежності зусилля осаджування від переміщення пуансонів зображені на рис. 4, а. При осаджуванні напівфабрикату, який отриманий із заготовки з  $\beta = 45^\circ$ , зусилля постійно зростає та досягає максимального значення 114 кН в кінці процесу при переміщенні пуансону 17 мм. Силовий режим формоутворення фланців у напівфабрикаті, що отриманий роздачею заготовки з  $\beta = 65^\circ$ , розподіляється на три стадії. На початку осаджування зусилля зростає до 65 кН. Далі, при переміщенні пуансону з 7 мм до 22 мм, має місце усталена стадія, на якій зусилля дещо зменшується. На кінцевій стадії зусилля осаджування знову зростає до величини 128 кН. Загальні вигляди виробів у двох проекціях, що отримані після осаджування напівфабрикатів із заготовок з  $\beta = 45^\circ$  та  $\beta = 65^\circ$ , наведені на рис 4, б і рис. 4, в відповідно.

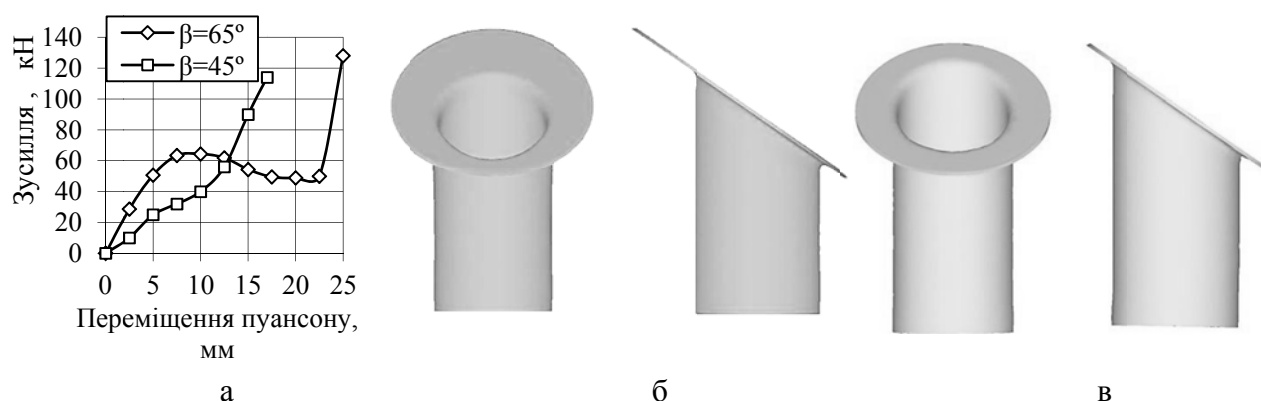


Рис. 4. Силові режими осаджування та загальні вигляди виробів після осаджування:

а – залежності зусилля осаджування від переміщення пуансонів; б – вигляди виробу після осаджування напівфабрикату, що отриманий із заготовки з  $\beta = 45^\circ$ ; в – вигляди виробу після осаджування напівфабрикату, що отриманий із заготовки з  $\beta = 65^\circ$

На рис. 5 зображені форма та розміри в міліметрах напівфабрикатів в перерізі по вісі в двох взаємно перпендикулярних напрямках, які відповідають найбільшому та найменшому розміру фланця. На рис. 5, а і рис. 5, б зображені форма та розміри виробу після формоутворення фланцю на заготовці з  $\beta = 45^\circ$ . В перерізі по найбільшому розміру фланцю (83 мм)

довжина фланцю на одній стороні більша в 2 рази від довжини на протилежній стороні. При цьому, має місце різне потоншення стінок з вихідної товщини 1,5 мм. Товщина стінки на торці більшої довжини склала 1,3 мм, на торці меншої – 1,1 мм. В перерізі по меншому розміру фланця (67 мм) потоншення стінки по довжині фланця практично не відбувається. Товщина стінки склала 1,48 мм. В місці переходу фланця в циліндричну частину товщина стінки збільшилася до величини 1,56 мм. Це пояснюється тим що на першому переході осаджування у вказаному перерізі напівфабрикату відбувається потовщення стінки.

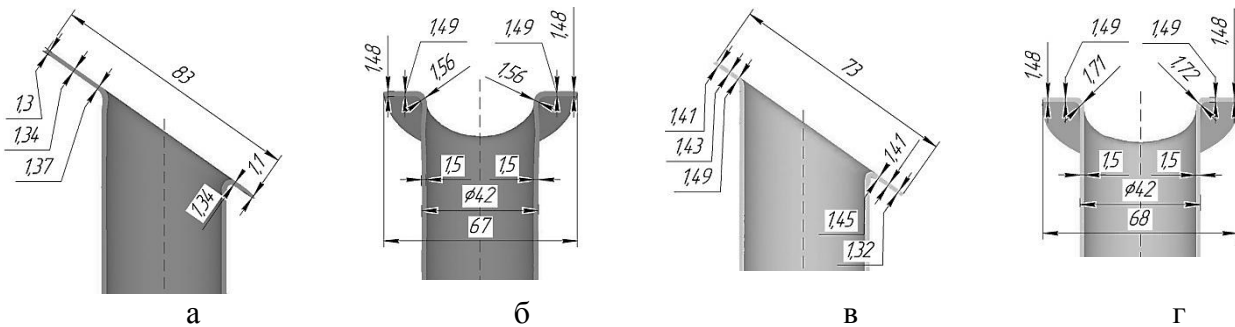


Рис. 5. Форма та розміри в міліметрах виробів в перерізі по вісі в двох взаємно перпендикулярних напрямках:

а і б – форма та розміри виробу після формоутворенні заготовки з  $\beta = 45^\circ$ , в – форма та розміри виробу після формоутворення заготовки з  $\beta = 65^\circ$

Зовсім інші форму та розміри має виріб, який отриманий із вихідної заготовки з кутом  $\beta = 65^\circ$ . Найбільший розмір фланцю в перерізі склав 73 мм, найменший – 68 мм. Розміри відрізняються в 1,07 рази. В попередньому випадку – в 1,24 рази. Зменшення нерівномірності деформацій при формоутворенні фланцю за два переходи привело до меншої різниці в потонненні стінок фланцю в двох перерізах в порівнянні з попереднім фланцем. Середнє значення товщини стінки в одному перерізі склало 1,41 мм і 1,43 мм, в другому перерізі – 1,49 мм.

На рис. 6 приведені розподіли результуючих значень інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (в МПа) та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$ , які накопичені у виробах після переходів роздачі та осаджування. Для виробу, який отриманий із вихідної заготовки з  $\beta = 45^\circ$ , має місце суттєва нерівномірність розподілу  $\varepsilon_i$  по периметру та по довжині zdeформованої частини. В зоні торця фланцю інтенсивність деформацій знаходиться в межах  $\varepsilon_i = 0,29-0,95$  (рис. 6, а). В місці переходу zdeформованої частини в циліндричну частину величина  $\varepsilon_i$  по периметру змінюється в межах  $\varepsilon_i = 0,12-0,37$ . Таке пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією приводить також до значної нерівномірності розподілів інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (рис. 6, б) та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  (рис. 6, в) у zdeформованому металі. В зоні торця фланцю по периметру інтенсивність напружень досягає значень  $\sigma_i = 580 - 1100$  МПа, а вичерпаний ресурс пластичності zdeформованого металу знаходиться в межах  $\psi = 0,12-0,95$ . Таким чином, використання вихідної заготовки з кутом зрізу  $\beta = 45^\circ$  для отримання плоского фланця має достатню вірогідність виникнення тріщин при холодному формоутворенні осаджуванням.

У виробі, який отриманий із заготовки з  $\beta = 65^\circ$  розподіли результуючих значень  $\varepsilon_i$ ,  $\sigma_i$  та  $\psi$  мають відмінність з попереднім випадком. Максимальні значення інтенсивності деформацій в зоні торця фланцю по периметру знаходяться в межах  $\varepsilon_i = 0,37-0,95$  (рис. 6, г). В місці переходу zdeформованої частини в циліндричну частину величина  $\varepsilon_i$  по периметру змінюється в межах  $\varepsilon_i = 0,25-0,37$ . Інтенсивність напружень по периметру фланцю досягає

значень  $\sigma_i = 830\text{--}1\,200$  МПа (рис. 6, д). Вичерпаний ресурс пластичності здеформованого металу в зоні торця фланцю змінюється по периметру в межах  $\psi = 0,30\text{--}0,80$  (рис. 6, е). Тому виключається вірогідність утворення тріщин при осаджуванні напівфабрикату, який отриманий роздачею. В місці переходу здеформованої частини заготовки в циліндричну вичерпаний ресурс досягає значень  $\psi = 0,20\text{--}0,40$ . Можна прогнозувати, що більш рівномірне пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією по периметру фланцю та більш інтенсивне пропрацювання місця переходу здеформованої частини заготовки в циліндричну частину приведе до підвищення надійності та довговічності з'єднань трубопроводів за допомогою виробів, які отримані з вихідної трубчастої заготовки з  $\beta = 65^\circ$ .

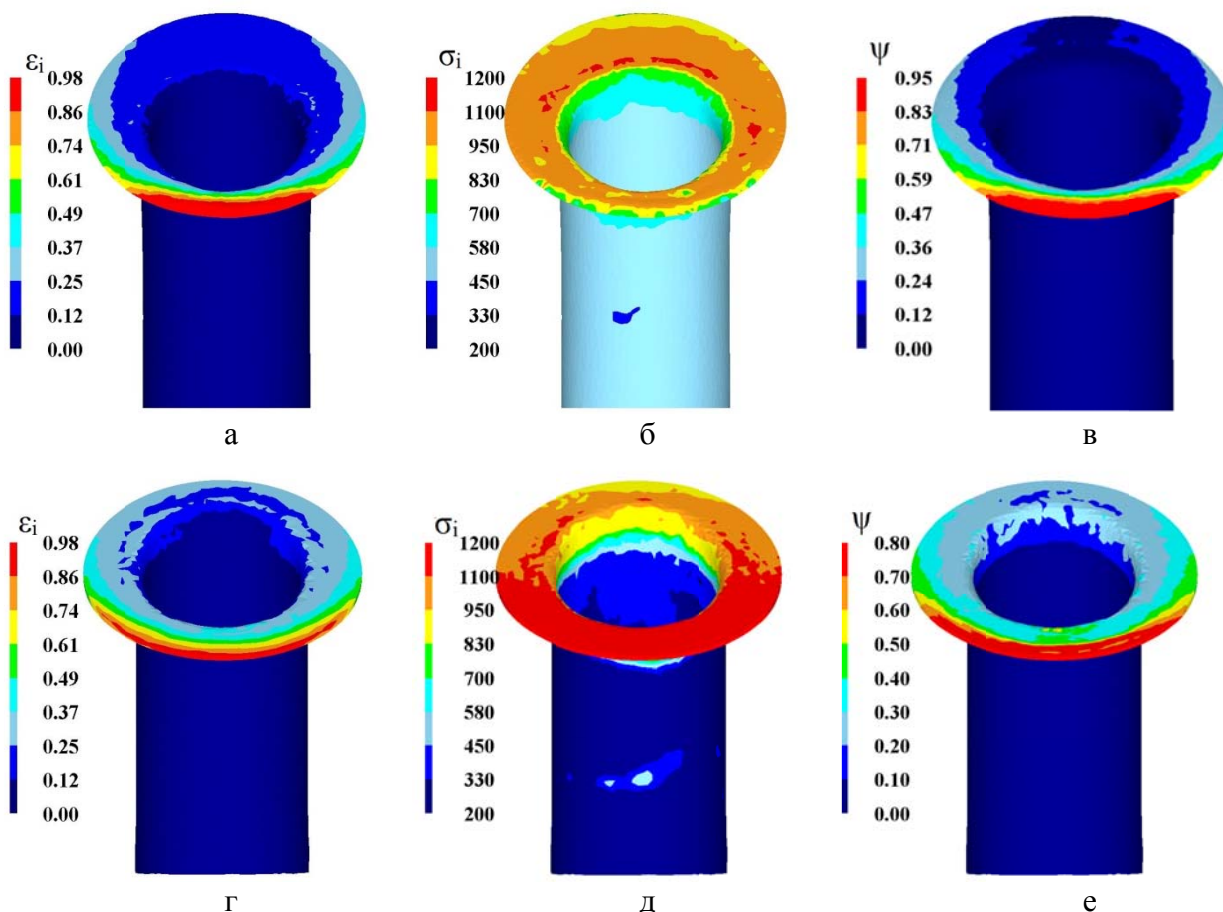


Рис. 6. Розподіли в виробах результуючих значень інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (в МПа) та ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  :

а, б і в – для виробу, що отриманий із вихідної заготовки з  $\beta = 45^\circ$  ; г, д і е – для виробу, що отриманий із вихідної заготовки з  $\beta = 65^\circ$

## ВИСНОВКИ

Методом скінченних елементів проведений порівняльний аналіз холодно формоутворення фланців, які розташовані під кутом до вісі трубчастої заготовки. Вихідні заготовки з кутами зрізу торця  $45^\circ$  та  $65^\circ$  деформувалися кутовою роздачею та подальшим осаджуванням. Встановлені залежності зусилля деформування від переміщення деформуючого інструменту, форма та розміри напівфабрикатів та виробів, напружено-деформований стан та ступінь використання ресурсу пластичності в них. Використання заготовки з кутом зрізу  $45^\circ$  приводить до значної нерівномірності напружень та деформацій у напівфабрикаті та виробі. В результаті отриманий виріб має по периметру суттєву відмінність розмірів фланцю. Формоутворення фланцю на заготовці з кутом зрізу  $65^\circ$  забезпечую більш рівномірний напружено-деформований

стан у напівфабрикаті та кінцевому виробі. Зменшується вірогідність утворення тріщин при осаджуванні і фланець має практично однаковий розмір по периметру виробу. Розрахунковим шляхом встановлені всі необхідні дані для проектування технології виготовлення фланців, які розташовані під кутом на трубчастих заготовках.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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. Артеc А. Э. Технологические процессы изготовления поковок из трубных заготовок / А. Э. Артеc // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением, 2003. – № 11. – С. 25–31.
3. Артеc А. Э. Групповые технологические процессы штамповки трубных переходов в мелкосерийном и серийном производстве / А. Э. Артеc, Е. Н. Сосенушкин, В. В. Третьюхин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2007. – № 7. – С. 18–24.
4. 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.
5. 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.
6. Олександренко Я. С. Влияние угла конуса сprofilированного пуансона на силовые режимы и качество изделий при раздаче трубчатых заготовок из стали 12Х18Н10Т / Я. С. Олександренко, И. П. Куликов // Сборник научных трудов (серия отраслевое машиностроение и строительство). – Полтава : НТУ, 2014. – № 2 (41). – С. 259–265.
7. Сосенушкин Е. Н. Исследование неравномерной раздачи трубных заготовок / Е. Н. Сосенушкин, И. Е. Смолович, Е. А. Яновская // Харків, Вісник НТУУ «ХПИ», 2012. – № 47. – С. 184–192.

#### REFERENCES

1. Kovka i shtampovka: Spravochnik. V 4 t. T4. Listovaja shtampovka / pod red. A. D. Matveeva; red. совет E. I. Semenov [i dr.] – M. : Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s.
2. Artes A. Je. Tehnologicheskie processy izgotovlenija pokovok iz trubnyh zagotovok / A. Je. Artes // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davlenim, 2003. – № 11. – S. 25–31.
3. Artes A. Je. Gruppovye tehnologicheskie processy shtampovki trubnyh perehodov v melkoserijnom i serijnom proizvodstve / A. Je. Artes, E. N. Sosenushkin, V. V. Tret'julin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem, 2007. – № 7. – S. 18–24.
4. Jakovlev S. S. Tehnologicheskie parametry operacij obzhima i razdachi trubnyh zagotovok iz anizotropnyh materialov / S. S. Jakovlev, K. S. Remnev // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki, 2011. – № 2. – S. 513–526.
5. Intensifikacija processa razdachi osesimmetrichnyh zagotovok / O. V. Kaljuzhnyj, V. V. Pimanov, Ja. S. Oлександрenko [i dr.] // Obrabotka materialov davlenim : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – № 1 (38). – S. 103–109.
6. Oлександрenko Ja. S. Vlijanie ugla konusa sprofilirovannogo puansona na silovye rezhimy i kachestvo izdelij pri razdache trubchatyh zagotovok iz stali 12H18N10T / Ja. S. Oлександрenko, I. P. Kulikov // Sbornik nauchnyh trudov (serija otraslevoe mashinostroenie i stroitel'stvo). – Poltava : NTU, 2014. – № 2 (41). – S. 259–265.
7. Sosenushkin E. N. Issledovanie neravnomernoj razdachi trubnyh zagotovok / E. N. Sosenushkin, I. E. Smolovich, E. A. Janovskaja // Harkiv, Visnik NTUU «HPI», 2012. – № 47. – S. 184–192.

Калюжний В. Л. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПІ»

Мехнін Д. С. – аспірант НТУУ «КПІ»

Вихованець І. В. – студент НТУУ «КПІ»

Куліков І. П. – студент НТУУ «КПІ»

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

E-Mail: [kwl\\_2011@ukr.net](mailto:kwl_2011@ukr.net)

Стаття надійшла до редакції 11.03.2015 р.