

УДК 621.983

Калюжний О. В.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВІДНОЇ АРМАТУРИ З ТРУБЧАСТОЇ ТА ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ

В трубопровідних системах для з'єднання труб використовують конічні перехідники з фланцями та трубчасті заготовки з фланцями. Для отримання фланців використовують операцію гарячої або холодної роздачі трубчастої заготовки з подальшим осаджуванням здеформованої частини. При роздачі має місце потовщення стінки в місці переходу здеформованої частини заготовки в циліндричну частину та потоншення стінки здеформованої частини при формоутворенні фланця подальшим осаджуванням. Потоншення приводить до того, що фланці мають різну товщину по довжині. Також потоншення приводить до неможливості отримання фланців великого діаметру по причині виникнення тріщин при осаджуванні. Холодна роздача трубчастих заготовок достатньо вивчена і накопичений досвід викладений в джерелах [1–4]. Формоутворення при роздачі визначається коефіцієнтом роздачі, який розраховується як відношення найбільшого діаметру здеформованої частини до діаметра заготовки. Величина вказаного коефіцієнту обмежується втратою стійкості стінки циліндричної частини заготовки або виникненням тріщин на торці стінки. Тому подальше отримання фланців осаджуванням з таких заготовок практично неможливе без проведення відпалу після роздачі. Інтенсифікація роздачі шляхом урахування анізотропії та використання пуансонів спеціального профілю також не забезпечує отримання фланців великого діаметру та фланців з постійною товщиною стінки [5–7]. З літературних джерел також відомо, що прикладання підпору на торець стінки при роздачі, дещо збільшує граничну формозміну, однак також не вирішує проблеми холодного штампування фланців на трубчастих заготовках. Необхідність отримання фланців з постійною товщиною стінки або фланців з товщиною стінки, не меншою чим товщина вихідної заготовки, потребує використання вихідних трубчастих заготовок, які отримані витягуванням з листових заготовок.

Метою роботи є порівняльний аналіз отримання порожнистих виробів з фланцями з трубчастої заготовки холодною роздачею та осаджуванням та з листової заготовки витягуванням і осаджуванням.

Для виконання холодної роздачі трубчастої заготовки з великим кутом конусу пуансона, щоб провести подальше осаджування за один перехід, необхідно використовувати закриту схему. Схема закритої роздачі трубчастої заготовки приведена на рис. 1. Ліворуч від вісі симетрії наведений вихідний стан перед роздачею, праворуч – в процесі роздачі. Вихідна трубчаста заготовка 1 розміщена в матриці 2 між рухомою оправкою 3. Матриця встановлена на плиті 4. При роздачі зусилля деформування P_d прикладають за допомогою пуансону 5. При цьому оправка одночасно зміщується з пуансоном зі швидкістю V_o . Після роздачі отримують виріб 6. Для розрахункового аналізу роздачі була використана трубчаста заготовка з нержавіючої сталі X18H10T, яка мала наступні розміри: $H_o = 42$ мм, $D_o = 36$ мм, $S_o = 2$ мм.

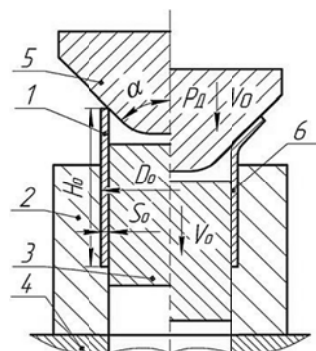


Рис. 1. Схема закритої роздачі трубчастої заготовки

Кут конусу пуансона $\alpha = 45^\circ$. Швидкість пуансону та оправки $V_o = 7$ мм/сек. Коефіцієнт тертя $\mu = 0,08$. Розрахунковий аналіз цього процесу та нижче приведені був виконаний методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням пакету DEFORM, який дозволяє розділити формоутворення на певну кількість переходів для виявлення втрати стійкості стінки і можливого руйнування, а також врахувати накопичені деформації та напруження при послідовному штампуванні виробу за декілька переходів.

На рис. 2 зображені результати моделювання холодної закритої роздачі. Залежність зусилля роздачі від переміщення пуансону наведена на рис. 2, а. Зусилля спочатку зростає, далі залишається постійним при переміщенні пуансону від 1 до 4 мм, потім знову збільшується до величини 47 кН в кінці формоутворення. Загальний вигляд напівфабрикату в розрізі після роздачі зображений на рис. 2, б. Форма та розміри в міліметрах zdeформованої заготовки показані на рис. 2, в. Тут і надалі тонкими лініями наведений деформуючий інструмент. При закритій роздачі в місці переходу циліндричної частини в конусну частину має місце потовщення стінки з $S_o = 2$ мм до 2,07 мм. Далі по довжині конусної частини стінка потоншується і товщина стінки на торці складає 1,56 мм. На рис. 2, г зображений розподіл інтенсивності деформацій ε_i в zdeформованій заготовці. В місці переходу циліндричної частини в zdeформовану за рахунок згинання отримане значення $\varepsilon_i = 0,15$. Далі в конусній частині інтенсивність деформацій збільшується і в зоні торця досягає величини $\varepsilon_i = 0,38-0,45$. Розподіл ступеню використання ресурсу пластичності ψ в zdeформованій заготовці показаний на рис. 2, д. Максимальна величина вичерпаного ресурсу пластичності складає $\psi = 0,79-0,9$. Встановлено, що при таких розмірах zdeформованої частини подальше осаджування для утворення фланця відбувається без руйнування.

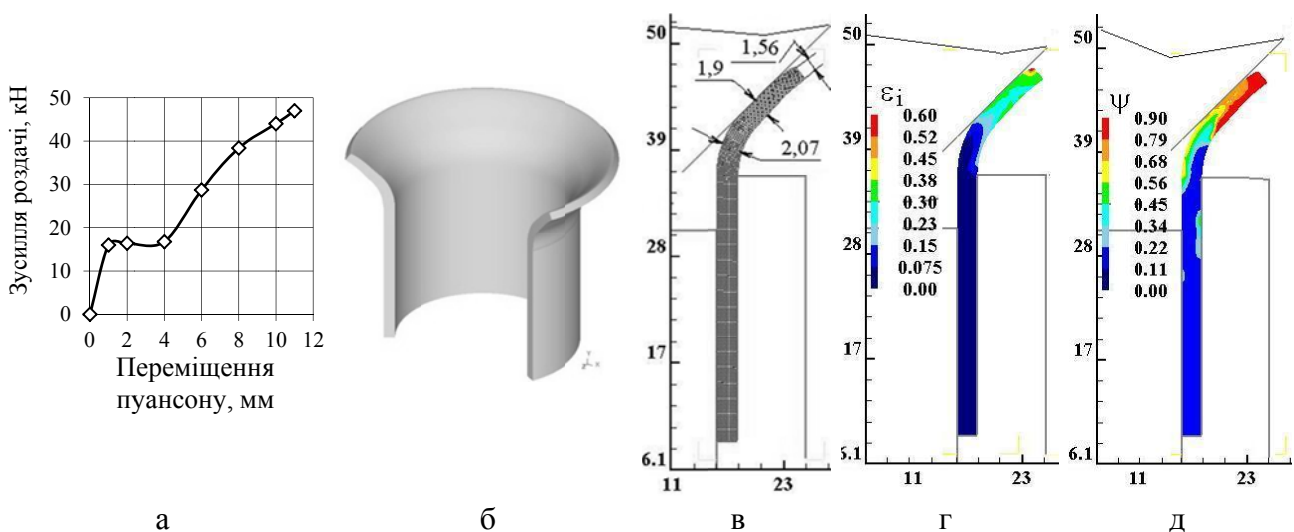


Рис. 2. Результати моделювання процесу роздачі:

а – залежність зусилля роздачі від переміщення пуансону; б – загальний вигляд напівфабрикату в розрізі; в – форма та розміри zdeформованої заготовки; г, д – розподіли відповідно інтенсивності деформацій ε_i та ступеню використання ресурсу пластичності ψ в zdeформованій заготовці

Наступна операція – осаджування напівфабрикату, який отриманий після роздачі. Результати моделювання приведені на рис. 3. При розрахунку осаджування враховані накопичені деформації та напруження, які отримані на стадії роздачі трубчастої заготовки. Розрахункова схема осаджування з позначеннями і розмірами деформуючого інструменту зображена на рис. 3, а. Напівфабрикат 1, який отриманий роздачею, встановлюють в матрицю 2. Зусилля деформування P_A прикладають за допомогою пуансону 3. Залежність зусилля осаджування

від переміщення пуансону зображена на рис. 3, б. Максимальне зусилля осаджування отримане в кінці процесу та складає 360 кН. Така величина зусилля пов'язана з деформуванням пуансоном потовщеної стінки напівфабрикату на радіусі заокруглення матриці. На рис. 3, в наведений розподіл нормальних напружень на поверхні контакту фланця заготовки з пуансоном при максимальному зусиллі осаджування. Найбільше значення вказаних напружень досягає 930 МПа. Загальний вигляд виробу в розрізі зображений на рис. 3, г. На рис. 3, д показані кінцева форма та розміри в міліметрах здеформованої заготовки. Фланець має різну товщину по довжині, яка змінюється з 2 мм на радіусі заокруглення до 1,3 мм на торці фланця діаметром 54 мм. При цьому має місце викривлення фланця на нижній поверхні величиною 0,3 мм. Подальше осаджування після роздачі приводить до ще більшого пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією. Інтенсивність деформацій у фланці досягає значень $\varepsilon_i = 0,5-0,6$ (рис. 3, е). При цьому практично повністю вичерпується ресурс пластичності у здеформованому металі фланця, який складає $\psi = 0,83-0,95$. По цій причині отримати більший діаметр фланцю при даних розмірах вихідної заготовки з використанням операцій холодної закритої роздачі та подальшого осаджування не представляється можливим.

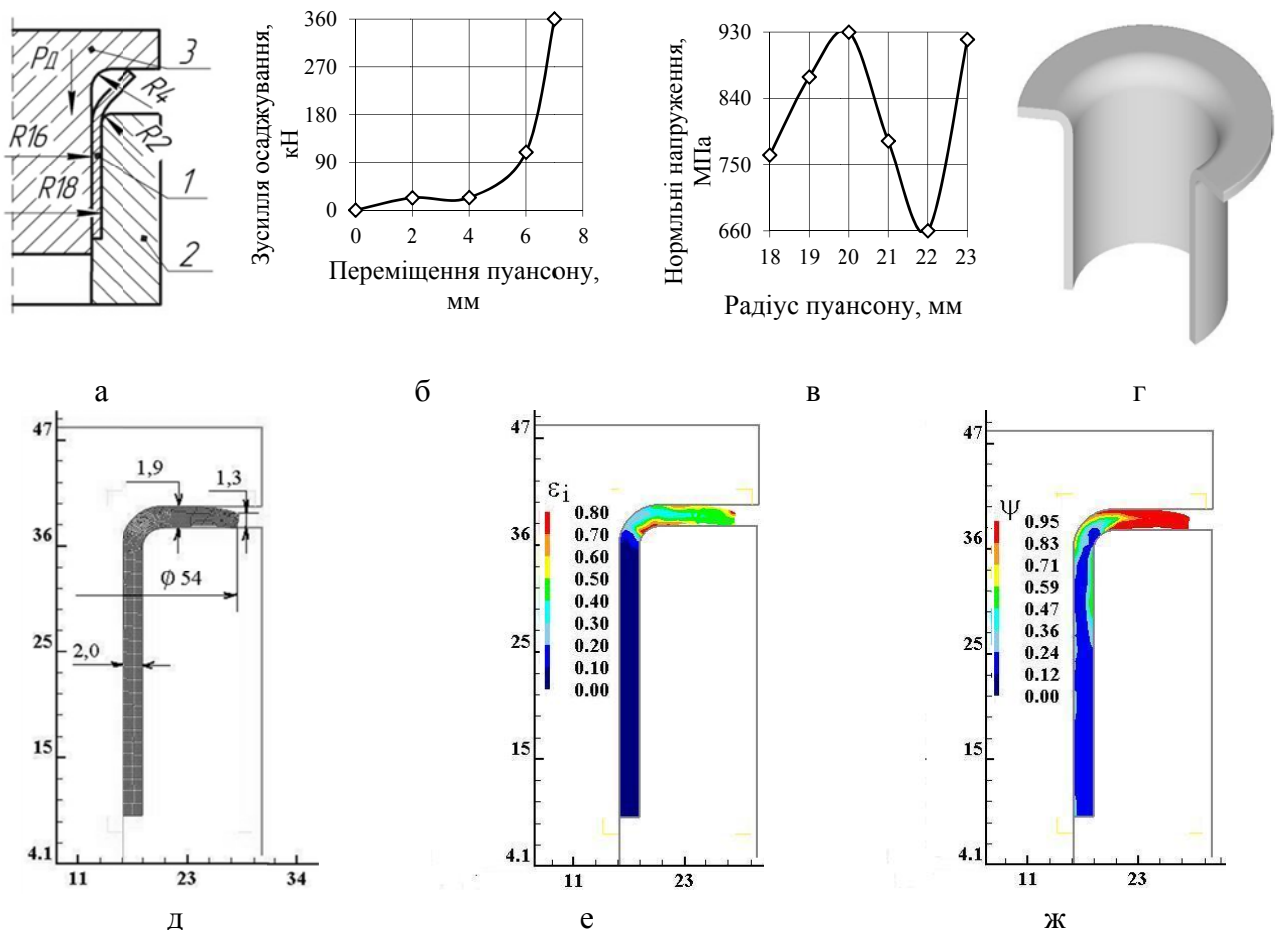


Рис. 3. Результати моделювання осаджування напівфабрикату після роздачі:

а – розрахункова схема осаджування з розмірами деформуючого інструменту; б – залежність зусилля осаджування від переміщення пуансону; в – розподіл нормальних напружень на поверхні контакту фланця заготовки з пуансоном; г – загальний вигляд виробу в розрізі, д – форма та розміри в міліметрах здеформованої заготовки; е, ж – розподіли відповідно інтенсивності деформацій ε_i та ступеню використання ресурсу пластичності ψ в здеформованій заготовці

Порожнисту заготовку під подальше отримання фланців можливо отримати комбінованим витягуванням в одноконусній матриці [8]. Якщо не завершувати повністю витягування, то можна отримати порожнистий напівфабрикат з циліндричною частиною постійного діаметру та конусною частиною з кутом, що відповідає куту конусу поверхні матриці. Було запропоновано провести комбіноване витягування за один перехід в матриці спеціального профілю [9] з формоутворенням до необхідної форми та розмірів конусної частини zdeформованої заготовки, яка дозволить подальшим осаджуванням отримати фланець з постійною товщиною, що дорівнює товщині вихідної листової заготовки. Комбінованому витягуванню підлягала листовая заготовка з нержавіючої сталі 12X18H10T діаметром 86 мм та товщиною 2 мм.

Результати розрахункового аналізу зображені на рис. 4. Моделюванням був встановлений профіль матриці, який забезпечує отримання витягуванням за один перехід напівфабрикату необхідної форми та розмірів. Розрахункова схема початку витягування у вказаній матриці з позначеннями та розмірами приведена на рис. 4, а. Заготовка 1 встановлена на матриці 2. Витягування виконується пуансоном 3. Спеціальний профіль матриці, у якій замість конусної поверхні виконані виступи відповідного радіусу, дозволяє розподілити процес формоутворення на декілька стадій. При цьому zdeформована заготовка не контактує по всій поверхні

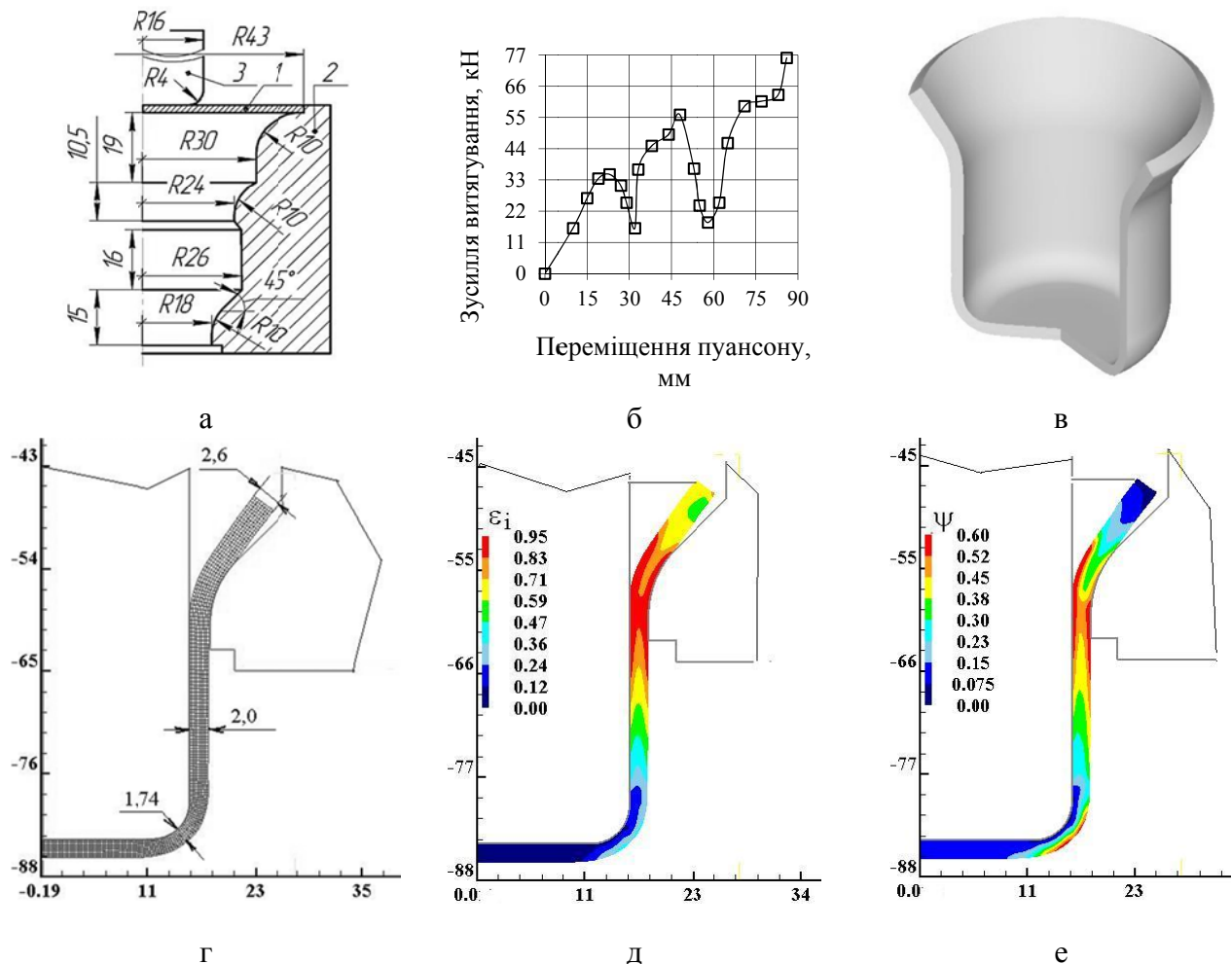


Рис. 4. Результати моделювання комбінованого витягування:

а – розрахункова схема зі встановленим спеціальним профілем матриці з заготовкою на початку витягування; б – залежність зусилля витягування від переміщення пуансону; в – загальний вигляд напівфабрикату в розрізі; г – форма та розміри напівфабрикату; д, е – розподіли відповідно інтенсивності деформацій ϵ_i та ступеню використання ресурсу пластичності ψ у zdeформованій заготовці

з матрицею, а торець заготовки розвантажується між виступами матриці на кожній стадії, що запобігає утворенню складок. На рис. 4, б показана залежність зусилля витягування від переміщення пуансону. На графіку видно три стадії витягування, причому кожна наступна стадія формоутворення по виступах поверхні матриці починається при значному зменшенні зусилля деформування на попередній стадії. Максимальне значення зусилля 76 кН отримане в кінці утворення напівфабрикату. Загальний вигляд напівфабрикату в розрізі показаний на рис. 4, в. На рис. 4, г зображені форма та розміри напівфабрикату. Відбувається потоншення стінки на радіусі заокруглення пуансону з 2 мм до 1,74 мм, а товщина стінки торця збільшується до величини 2,6 мм. Таке потовщення забезпечить постійну товщину фланцю при подальшому осаджуванні. Найбільші значення інтенсивності деформацій ε_i в здеформованій заготовці виникають місці переходу циліндричної заготовки в конусну та складають $\varepsilon_i = 0,83-0,95$ (рис. 4, д). В конусній частині, яка буде підлягати подальшому осаджуванню, величина інтенсивності знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0,59-0,71$. Ступінь використання ресурсу пластичності в здеформованому металі досягає максимальних величин також в місці переходу циліндричної частини заготовки в конусну і складає $\psi = 0,45-0,52$ (рис. 4, е). В конусній частині вичерпний ресурс пластичності знаходиться в межах $\psi = 0,15-0,38$. Вказана величина суттєво менша в порівнянні з здеформованою трубчастою заготовкою після роздачі (див. рис. 2, д). Це відкриває можливості формоутворення фланців значно більших розмірів із заготовки, яка отримана витягуванням.

Наступна операція після витягування – осаджування конусної частини одночасно з пробиванням дна. При моделюванні цього переходу враховані накопичені деформації та напруження, які отримані в напівфабрикаті після комбінованого витягування. Результати розрахунків наведені на рис. 5. Розрахункова схема з розмірами інструменту зображена на рис. 5, а. Напівфабрикат після витягування 1 встановлений в матриці 2. Зусилля деформування P_d прикладають за допомогою пуансону 3. Графік залежності зусилля деформування від переміщення пуансону показаний на рис. 5, б. Максимальне значення зусилля в кінці осаджування складає 350 кН. На рис. 5, в зображений загальний вигляд виробу в розрізі. Форма та розміри виробу показані на рис. 5, г. В результаті осаджування отримується фланець діаметром 54 мм з товщиною стінки 2 мм по всій довжині. Таку товщину має і циліндрична частина порожнистого виробу. Найбільше пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією здеформована заготовка має в місці переходу циліндричної частини у фланець. У вказаному місці інтенсивність деформацій знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0,83-0,95$ (рис. 5, д). Можна прогнозувати підвищення надійності та довговічності з'єднання трубопроводів за допомогою цієї деталі порівнянні з деталлю, яка отримана з трубчастої заготовки. Також ще додатково відкриваються можливості отримання фланців більших розмірів, оскільки найбільші значення вичерпаного ресурсу пластичності у здеформованому металі досягають значень $\psi = 0,7-0,8$ (рис. 5, е).

ВИСНОВКИ

Методом скінченних елементів проведений розрахунковий аналіз холодного штампування фланцю на трубчастій заготовці за допомогою операцій холодної роздачі та подальшого осаджування, а також формоутворення фланцю на порожнистому напівфабрикаті, що отриманий з листової заготовки комбінованим витягуванням в матриці спеціального профілю з подальшими осаджуванням і пробиванням дна. Моделюванням встановлені залежності зусилля деформування від переміщення деформуючого інструменту, розподіл нормальних напружень на контактуючій поверхні, інтенсивність деформацій та вичерпаний ресурс пластичності.

тичності у здеформованому металі, форми та розміри напівфабрикатів та розміри виробів. При формоутворенні враховані накопичені деформації та напруження на переходах формоутворення. Використання листової заготовки та витягування дозволяє отримувати напівфабрикат з необхідною товщиною стінки, що забезпечує формоутворення фланців і циліндричної частини з однаковою товщиною. Також відкриваються можливості штампувати з листових заготовок фланці більших розмірів в порівнянні з трубчастою заготовкою завдяки меншому ступеню використання ресурсу пластичності здеформованого металу у напівфабрикаті після витягування.

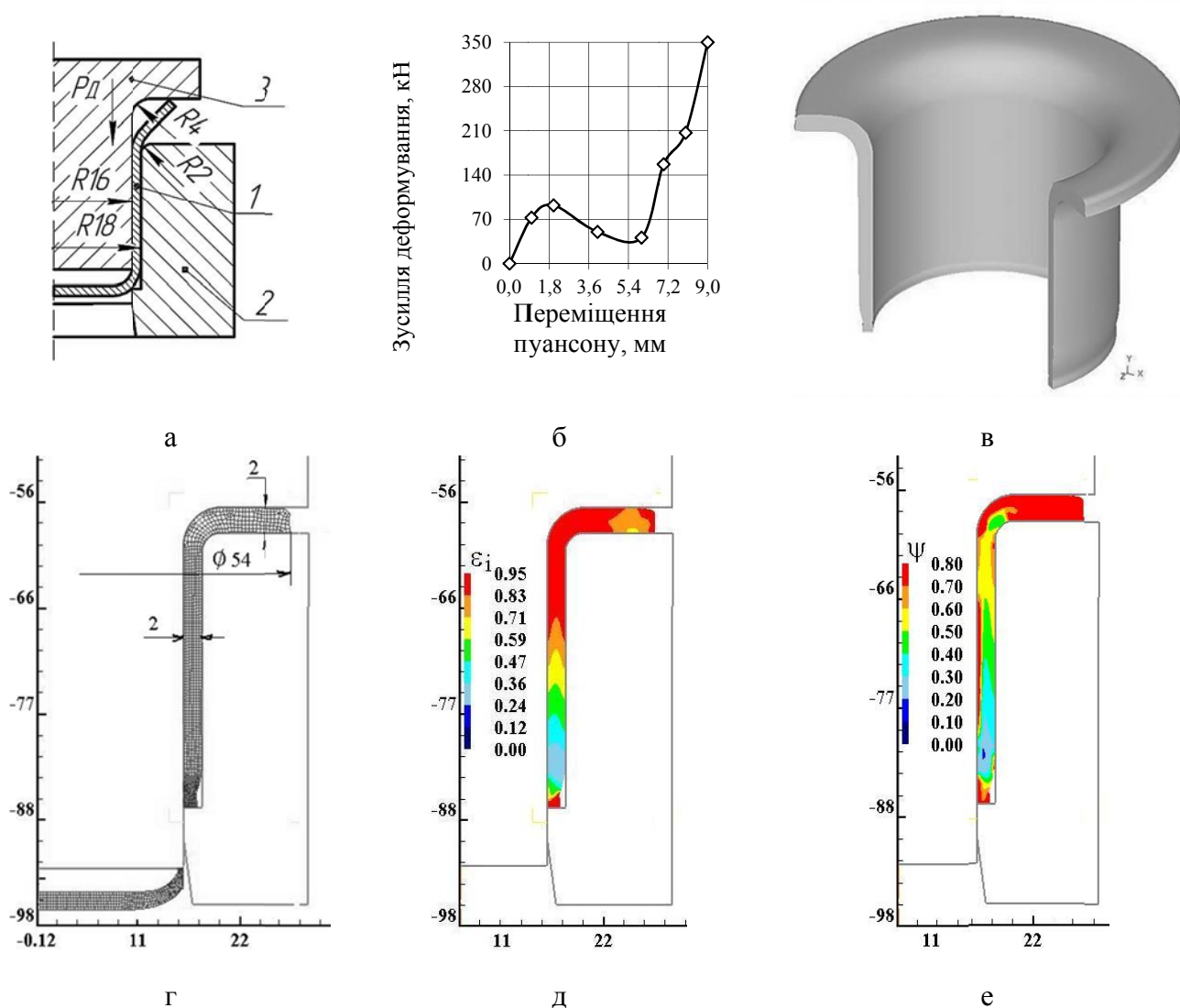


Рис. 5. Результати моделювання виробування та осаджування:

а – розрахункова схема; б – залежність зусилля деформування від переміщення пуансону; в – загальний вигляд виробу в розрізі; г – форма та розміри в міліметрах виробу; д, е – розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i та ступеню використання ресурсу пластичності ψ у здеформованій заготовці

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке*. – 6-е изд. переаб. и доп./ В. П. Романовский – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 520 с.
2. *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.

3. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. Формоизменяющие операции / Ю. А. Аверкиев. – Изд-во Ростовского ун-та, 1984. – 288 с.
4. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. 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.
6. Интенсификация процесса раздачи осесимметричных заготовок / А. 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 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). – НТУ. – Полтава, 2014. – № 2 (41). – С. 259–265.
8. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов / С. А. Валиев. – М. : Машиностроение, 1973. – 176 с.
9. Калюжный О. В. Холодне штампування виробу з двома фланцями із листової заготовки шляхом використання операцій витягування, роздачі і осаджування / О. В. Калюжний // Збірник наукових праць (галузевого машинобудування, будівництва), Полт. НТУ. – Вип. 2 (37), 2013. – С. 105–109.

REFERENCES

1. Romanovskij V. P. Spravochnik po holodnoj shtampovke. – 6-e izd. pereab. i dop./ V. P. Romanovskij – L. : Mashinostroenie. Leningr. otd., 1979. – 520 s.
2. Kovka i shtampovka: spravochnik. V 4 t. T4. Listovaja shtampovka / pod red. A. D. Matveeva; red. sovet E. I. Semenov [i dr.] – M. : Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s.
3. Averkijev Ju. A. Holodnaja shtampovka. Formoizmenjajushhie operacii / Ju. A. Averkijev. – Izd-vo Rostovskogo un-ta, 1984. – 288 s.
4. Averkijev Ju. A. Holodnaja shtampovka. / Ju. A. Averkijev, A. Ju. Averkijev. – M. : Mashinostroenie, 1989. – 304 s.
5. Krylov D. V. Matematicheskaja model' operacii razdachi trubnyh zagotovok iz anizotropnyh materialov / D. V. Krylov, S. S. Jakovlev // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – Vyp. № 1, 2011. – S. 79–88.
6. Intensifikacija processa razdachi osesimmetrichnyh zagotovok / A. V. Kaljuzhnyj, V. V. Pimanov, Ja. S. Oleksandrenko [i dr.] // Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – № 1 (38). – S. 103–109.
7. Oleksandrenko Ja. S. Vlijanie ugla konusa sprofilirovannogo puansona na silovye rezhimy i kachestvo izdelij pri razdache trubchatyh zagotovok iz stali 12H18N10T / Ja. S. Oleksandrenko, I. P. Kulikov // Sbornik nauchnyh trudov (serija otraslevoe mashinostroenie i stroitel'stvo). – NTU. – Poltava, 2014. – № 2 (41). – S. 259–265.
8. Valiev S. A. Kombinirovannaja glubokaja vytjazhka listovyh materialov / S. A. Valiev. – M. : Mashinostroenie, 1973. – 176 s.
9. Kaljuzhnyj O. V. Holodne shtampuvannja virobu z dvoma flancjami iz listovoї zagotovki shljahom vikoristannja operacij vitjaguvannja, rozdachi i osadzhuvannja / O. V. Kaljuzhnyj // Zbirnik naukovih prac' (galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo), Polt. NTU. – Vip. 2 (37), 2013. – S. 105–109.

Калюжный О. В. – канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ»

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

E-mail: Av-k@ukr.net