

УДК.621.721

Калюжний В. Л.
Потятиник А. М.
Малій Х. В.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДНОГО КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ ВИСТУПОМ У ДОННІЙ ЧАСТИНІ ЗІ СТОРОНИ ПОРОЖНИНИ

При виробництві виробів спеціального призначення широко використовуються порожнисті напівфабрикати, що мають виступи на донній частині зі сторони порожнини. Такі напівфабрикати отримують процесами холодного об'ємного штампування, зокрема зворотним видавлюванням, прямим видавлюванням з роздачою або зворотним видавлюванням з роздачою. Для зменшення товщини стінки та збільшення висоти напівфабрикатів використовують подальше витягування з потоншенням через одну або дві-три послідовно розташовані конусні матриці. На останньому переході формоутворення виробів спеціального призначення використовують операцію обтиску. При цьому на операціях витягування і обтиску необхідно забезпечити відповідні механічні властивості у здеформованому металі стінки.

Схеми видавлювання порожнистих напівфабрикатів пуансоном з конусним робочим торцем приведені на рис. 1. На схемах ліворуч від вісі симетрії показане положення перед видавлюванням, праворуч – в кінці видавлювання. Найбільш розповсюдженим способом виготовлення є зворотне видавлювання (рис. 1, а). Вихідну заготовку 1 діаметром D_0 і висотою H_0 встановлюють в матриці 2 на виштовхувач 3. Формоутворення виконують за допомогою опускання пуансона 4 з отриманням виробу 5. Технологія і штампове оснащення виготовлення виробів зворотним видавлюванням проектується в основному на базі виробничого досвіду і експериментальних даних [1]. При цьому практично відсутні дані по кінцевій формі і розмірах виробів з урахуванням пружної деформації, а також температурі, яка виникає у здеформованому металі.

Схема прямого видавлюванням з роздачою наведена на рис. 1,б [2]. Вихідну заготовку, діаметр D_0 якої менший за зовнішній діаметр D_m виробу, розміщують в матриці 2 на пуансоні 3. Формоутворення виконують за допомогою зміщення штовхача 4 та отримують виріб 5. Проведені дослідження [2–7] показали, що застосування такої схеми приводить до зниження зусилля деформування на пуансоні та підвищення його стійкості. Зниження зусилля, в порівнянні зі зворотним видавлюванням, досягається завдяки течії метала в одному напрямку та зменшенню величини по абсолютній величині гідростатичного тиску в осередку деформації. Суттєвим недоліком прямого видавлювання з роздачою є низька продуктивність, яка обумовлена складністю видалення готового виробу із штампа. Тому ця схема не знайшла широкого розповсюдження в промисловості. Для усунення вказаного недоліка використовують схему зворотного видавлювання з роздачою (рис. 1, в) [8]. Вихідну заготовку 1 встановлюють в рухомій матриці 2 на виштовхувач 3. Деформування заготовки 1 виконують за допомогою пуансона 4. При видавлюванні матрицю 2 опускають вниз із однаковою швидкістю з пуансоном 4. Якщо виріб 5 залишиться в матриці, то видалення виконують за допомогою виштовхувача 3 з одночасним поверненням матриці 2 у вихідне положення. А якщо деталь залишиться на пуансоні 4, то знімання виробу можна виконати за допомогою кільця, яке зв'язане з нижньою плитою штампа. При цьому зусилля видавлювання однакове з попередньою схемою.

Подальшому витягуванню з потоншенням підлягає порожнистий напівфабрикат, який повинен мати конусну донну частину. Такий напівфабрикат можна отримати комбінованим видавлюванням з одночасним формоутворенням стінки та донної частини. В наведених літературних джерелах практично відсутні дані для проектування технології холодного комбінованого видавлювання порожнистих напівфабрикатів з виступом на донній частині зі сторони порожнини.

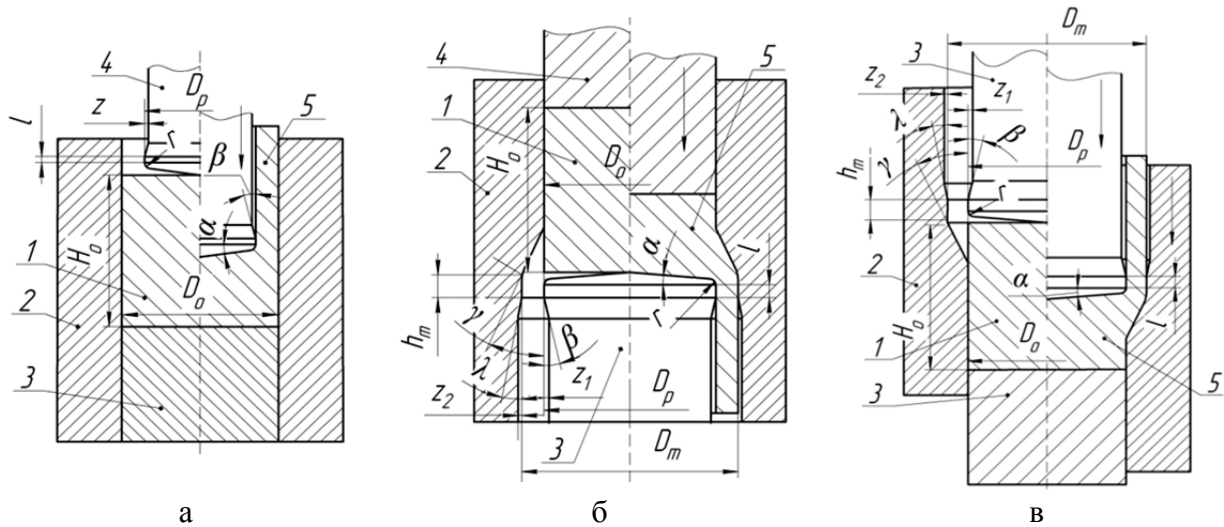


Рис. 1. Схеми видавлювання порожнистих напівфабрикатів:

а – зворотне видавлювання; б – пряме видавлювання з роздачою; в – зворотне видавлювання з роздачою

Метою роботи є розрахункове встановлення параметрів холодного комбінованого видавлювання напівфабрикатів з виступом на донній частині зі сторони порожнини.

Використання метода скінчених елементів (МСЕ) для теоретичного аналізу процесів холодного видавлювання дозволяє встановлювати всі необхідні дані для проектування технології і штампового оснащення, які не потребують доопрацювання експериментальними роботами [6–8]. Для моделювання використана скінченно-елементна програма DEFORM. Метал заготовки вважався пружно-пластичним зі зміцненням, деформуючий інструмент – абсолютно жорстким. Використання такої моделі металу дозволяє визначити кінцеві форму і розміри виробу, а також виконати аналіз процесів виймання пуансона із zdeформованої заготовки та виштовхування її із матриці після видавлювання. Враховано вплив тертя по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$. Швидкість деформування складала $V_o = 2$ мм/сек.

На рис. 2 показаний ескіз порожнистого напівфабрикату з виступом на донній частині зі сторони порожнини та схема його отримання комбінованим видавлюванням. На рис. 2, а наведений ескіз напівфабрикату із сталі 11ЮА. Крім форми виробу, при видавлюванні необхідно забезпечити відповідну межу текучості σ_s zdeформованого металу у стінці ($\sigma_s \geq 600$ МПа). Схема комбінованого видавлювання наведена на рис. 2, б. Вихідну заготовку 1 встановлюють на конусну поверхню матриці 2. Течію металу вниз по матриці обмежують виштовхувачем 3. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона 4. Після видавлювання отримують напівфабрикат 5. Діаметр вихідної заготовки $D_o = 48$ мм, висота $H_o = 30$ мм. Розміри пуансона прийняті по розмірах порожнини та виступу на дні, а висота пояса $l = 2$ мм, величини зазору $z = 0,15$ мм і кута $\beta = 7^\circ$. Розміри матриці виконані по розмірах зовнішньої поверхні напівфабрикату. При таких розмірах деформуючого інструменту та заготовки ступінь деформації при видавлюванні порожнини складає $\varepsilon = D_p^2 / D_o^2 = 36^2 / 48^2 = 0,56$, а при деформуванні по конусній поверхні матриці $\varepsilon = 1 - D_m^2 / D_o^2 = 1 - 40^2 / 48^2 = 0,305$.

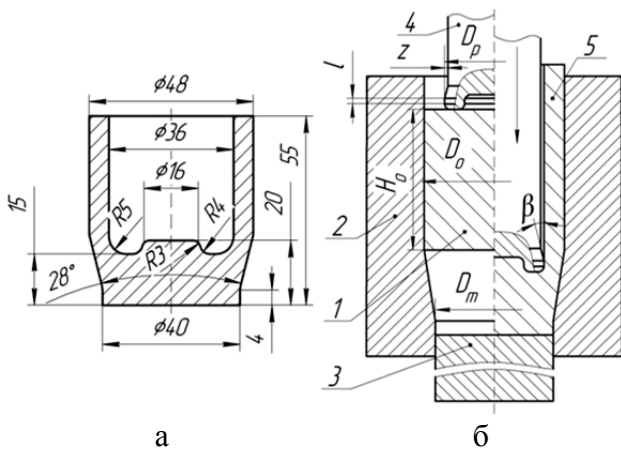


Рис. 2. Ескіз напівфабрикату та схема комбінованого видавлювання:
а – ескіз напівфабрикату; б – схема комбінованого видавлювання

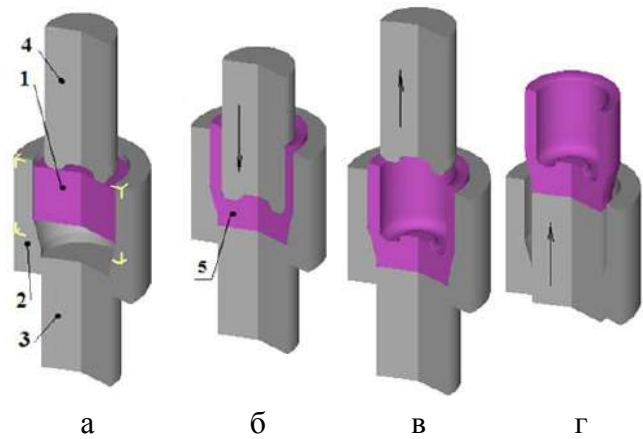


Рис. 3. Етапи отримання напівфабрикату:
а – на початку видавлювання;
б – в кінці видавлювання; в – після дістання пуансона із здеформованої заготовки;
г – після виштовхування виробу із матриці

Було проведено моделювання процесів видавлювання, дістання пуансона із здеформованої заготовки та виштовхування напівфабрикату із матриці. Розрахункові схеми в розрізі деформуючого інструмента та заготовки на різних етапах отримання напівфабрикату наведені на рис. 3. На рис. 3, а зображене положення на початку видавлювання. Вихідна заготовка 1 встановлена в матриці 2 і нижнім торцем спирається на конусну поверхню матриці 2. В циліндричній частині матриці встановлений виштовхувач 3. Зусилля деформування прикладається за допомогою пуансона 4. Положення в кінці видавлювання після опускання пуансона з отриманням напівфабрикату 5 показано на рис. 3, б. Після видавлювання був проведений розрахунок дістання пуансона із здеформованої заготовки шляхом переміщення його вгору (рис. 3, в). При цьому заготовка залишається в матриці. Далі виконане моделювання виштовхування виробу із матриці завдяки переміщенню виштовхувача вгору. Положення в кінці виштовхування приведені на рис. 3, г.

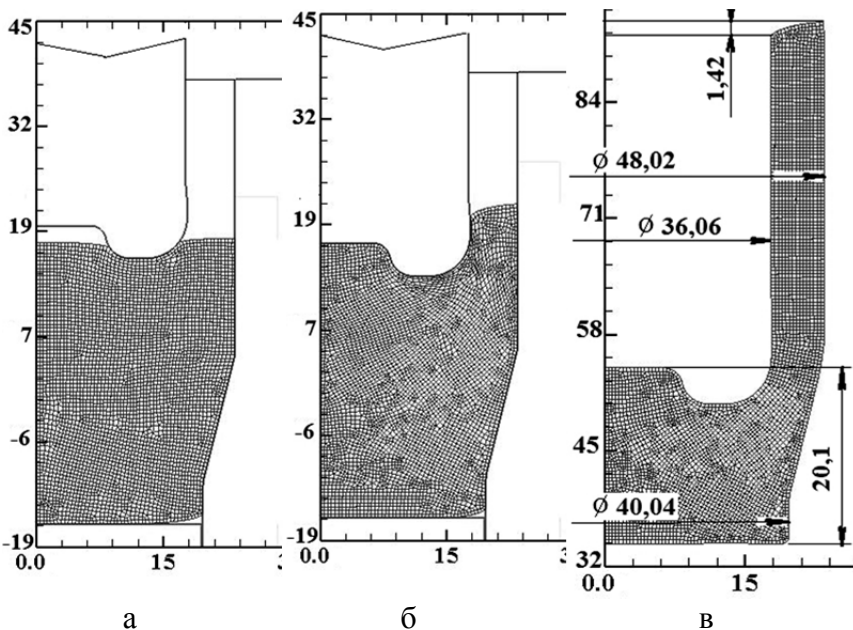


Рис. 4. Стадії формоутворення та кінцеві форма і розміри напівфабрикату:
а – при заповненні конусу матриці; б – при заповненні впадини на пуансоні

Стадії формоутворення напівфабрикату при видавлюванні та кінцева форма і розміри напівфабрикату зображені на рис. 4. Тут і в подальшому тонкими лініями показаний деформуючий інструмент, а розміри по вісях приведені в міліметрах. На рис. 4, а наведена стадія, на якій практично заповнюється конусна і циліндрична частина матриці, а метал частково затікає у впадину на пуансоні та стінку. Це відбувається при зусиллі 940 кН і переміщенні пуансона 18 мм. Далі, при зусиллі 2030 кН та переміщенні пуансона 21 мм, повністю заповнюється впадина на пуансоні і починається утворення

стілки (рис. 4, б). Кінцеві форма і розміри напівфабрикату, з урахуванням пружної деформації, приведені на рис. 4, в. На торці стінки утворюється утяжина висотою 1,42 мм. Для отримання необхідних розмірів напівфабрикату необхідно скорегувати розміри деформуючого інструменту.

На рис. 5 зображені силові режими отримання напівфабрикату. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона показана на рис. 5, а. Зусилля спочатку зростає повільно на стадії заповнення конусної частини матриці, а потім відбувається інтенсивне зростання зусилля при заповненні металом впадини на пуансоні та до моменту виходу металу в зазор між калібруючим пояском пуансона і матрицею з досягненням найбільшого значення 2250 кН. Далі зусилля починає зменшуватися до кінця видавлювання. На рис. 5, б зображена залежність зусилля діставання пуансона із здеформованої заготовки після видавлювання від його переміщення в зворотному напрямку. Найбільше значення цього зусилля склало 22 кН. Залежність зусилля виштовхування напівфабрикату із матриці від переміщення виштовхувача показана на рис. 5, в. Максимальна величина цього зусилля 36 кН отримана на початку руху виштовхувача вгору.

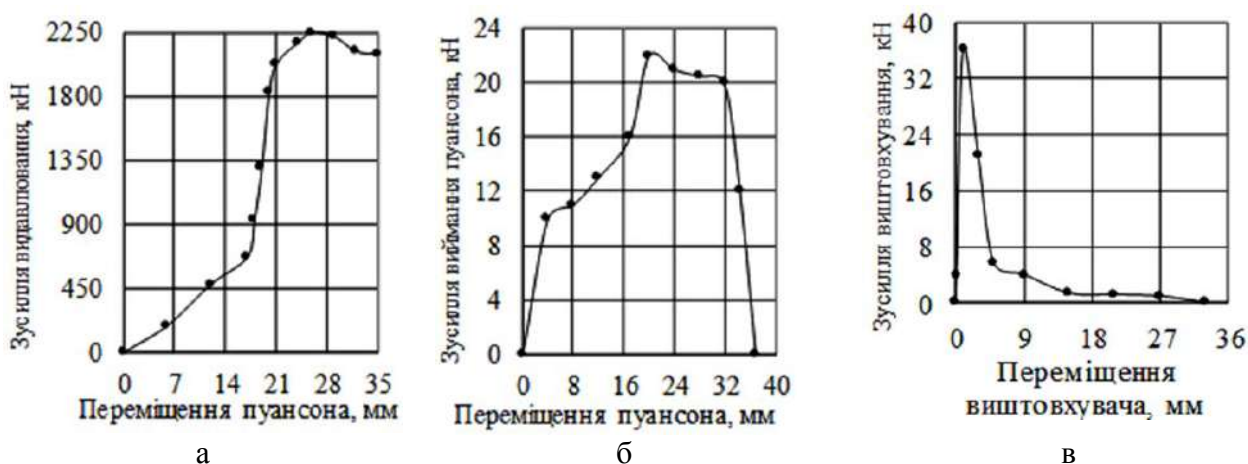


Рис. 5. Силові режими отримання напівфабрикату:

а – залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона; б – залежність зусилля діставання пуансона із здеформованої заготовки від переміщення пуансона; в – залежність зусилля виштовхування від переміщення виштовхувача

Моделюванням встановлений напружено-деформований стан металу при формоутворенні порожнистих виробів комбінованим видавлюванням. Питомі зусилля на контактуючих поверхнях між здеформованою заготовкою і інструментом можна оцінити по розподілу нормальних напружень σ_n , які виникають при максимальній величині зусилля видавлювання. Розподіли таких напружень зображені на рис. 6. Наведена половина здеформованої заготовки, а тонкими лініями показаний деформуючий інструмент. На торці пуансона отримані напруження у межах $\sigma_n = 1700\div 2500$ МПа. На виштовхувачі найбільше значення цих напружень склало $\sigma_n = 1900$ МПа. По висоті матриці нормальні напруження розподілені нерівномірно. На верхній циліндричній частині матриці отримано найбільшу величину $\sigma_n = 1000$ МПа. На конусній частині матриці напруження досягають величини $\sigma_n = 1700$ МПа. На нижній циліндричній поверхні матриці отримано $\sigma_n = 1400$ МПа. При такому розподілі нормальних напружень можна рекомендувати виконання матриці з двох складових частин. Верхня циліндрична частина матриці повинна складатися із внутрішньої втулки і одного бандажа (однобандажованою), а конусна частина – із внутрішньої втулки і двох бандажів (двохбандажованою).

При холодному комбінованому видавлюванні підвищується температура металу, що деформується. Розподіли температури у здеформованій заготовці при максимальній величині зусилля видавлювання та в кінці видавлювання зображені на рис. 7. На рис. 7, а показаний

розподіл температури у здеформованій заготовці при максимальній величині зусилля видавлювання. Найбільше значення температури $T = 265\text{ }^{\circ}\text{C}$ виникає в області заготовки на радіусі заокруглення пуансона.

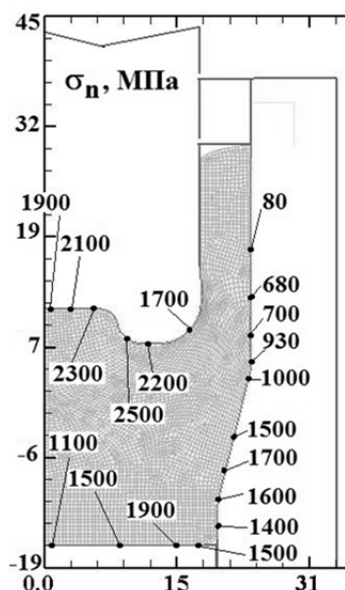
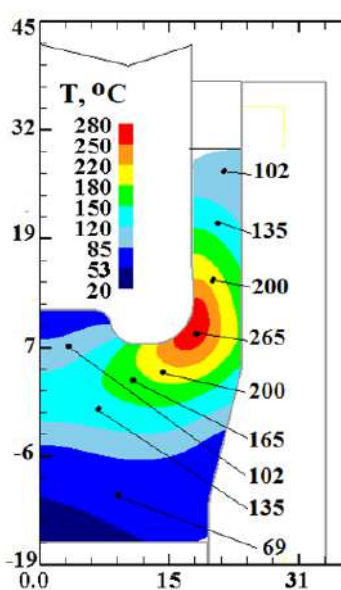


Рис. 6. Розподіли нормальних напружень σ_n на деформуючому інструменті при максимальному зусиллі видавлювання

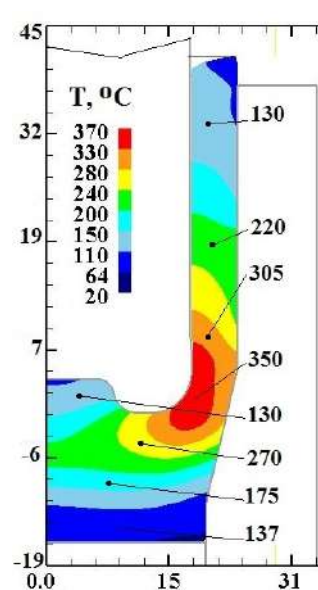


а

Рис. 7. Розподіли температури у здеформованій заготовці:

а – при максимальному зусиллі видавлювання;

б – в кінці видавлювання



б

При подальшому видавлюванні температура ще підвищується. Розподіл температури у здеформованій заготовці в кінці видавлювання приведений на рис. 7, б. У вищевказаній області температура досягає величини $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Донна частина здеформованої заготовки прогривається до температури в межах $T = 137^{\circ}\div 270^{\circ}\text{C}$. У стінці отримано $T = 130^{\circ}\div 220\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вказані величини температур при холодному видавлюванні підтверджуються даними А. Г. Овчіннікова [9].

Механічні властивості металу після видавлювання визначаються кінцевим деформованим станом. На рис. 8 показані розподіли радіальних ε_r , осьових ε_z , тангенціальних ε_{θ} деформацій та інтенсивності деформацій ε_i по об'єму отриманого напівфабрикату. Розподіл деформацій ε_r приведений наведений на рис. 8, а. По висоті стінки ці деформації стискаючі та змінюються від $\varepsilon_r = -0,25$ в зоні верхнього торця стіни до $\varepsilon_r = -1,3$ в місці переходу стінки у донну частину напівфабрикату. У донній частині заготовки виникають розтягувальні радіальні деформації величиною $\varepsilon_r = 0,55$. Осьові деформації у стінці розтягувальні та змінюються від $\varepsilon_z = 0,45$ в зоні верхнього торця до $\varepsilon_z = 1,1$ у місці переходу стінки в донну частину (рис. 8, б). Стискаючі деформації величиною $\varepsilon_z = -1,3$ мають місце у донній частині напівфабрикату. Практично по всьому об'єму напівфабрикату виникають розтягувальні тангенціальні деформації ε_{θ} (рис. 8в). По висоті стінки вони змінюються у межах $\varepsilon_{\theta} = 0,07\div 0,67$. При цьому ці деформації розподілені нерівномірно по ширині стінки. Також нерівномірно у вказаному місці розподілена інтенсивність деформацій ε_i (рис. 8, г). У внутрішніх шарах металу стінки отримано $\varepsilon_i = 2,5$, по середині стінки – $\varepsilon_i = 1,1$, а у зовнішніх шарах металу стінки $-\varepsilon_i = 0,6$. При такій величині ε_i по середині стінки

та з використанням експериментальної діаграми істинних напружень можна прогнозувати величину межі текучості здеформованого металу стінки $\sigma_s > 640$ МПа, що відповідає заданим вимогам.

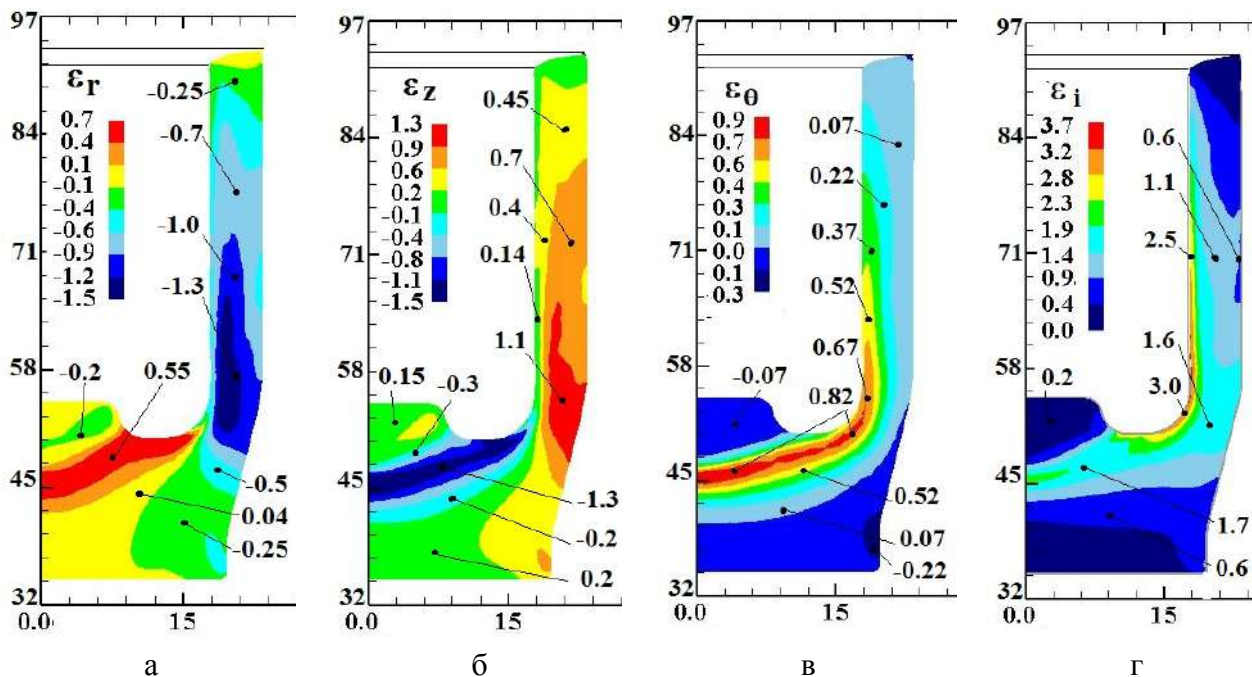


Рис. 8. Розподіли радіальних ε_r , осьових ε_z , тангенціальних ε_θ деформацій та інтенсивності деформацій по об'єму отриманого напівфабрикату:

а – розподіл ε_r ; б – розподіл ε_z ; в – розподіл ε_θ ; г – розподіл ε_i

ВИСНОВКИ

Методом скінченних елементів проведений аналіз холодного комбінованого видавлювання із маловуглецевої сталі порожнистих напівфабрикатів з виступом на конусній донній частині зі сторони порожнини під подальше витягування з потоншенням. Встановлені залежності зусилля видавлювання, діставання пуансонів із здеформованої заготовки та зусилля виштовхування напівфабрикатів із матриці від переміщення деформуючого інструмента. Визначений напружено-деформований стан металу при формоутворенні напівфабрикату та температура здеформованого металу. Виявлений точний розподіл питомих зусиль на пуансоні, виштовхувачі і матриці. З урахуванням пружної деформації розраховані кінцеві форми і розміри напівфабрикату. Моделюванням визначені всі необхідні дані для проектування технології комбінованого видавлювання порожнистих виробів, зокрема зусилля видавлювання – для вибору пресового обладнання, розподіл питомих зусиль – для проектування штампового оснащення, форма і розміри напівфабрикату та розподіл інтенсивності деформацій – для прогнозування їх якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковка и объемная штамповка : справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1987. – 384 с.
2. Джонсон У. Теория пластичности для инженеров / У. Джонсон, П. Б. Меллор ; пер. с англ. А. Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1979. – 567 с.
3. Овчинников А. Г. Прямое выдавливание цилиндрических стаканов / А. Г. Овчинников А. В. Хабаров // В кн. : Совершенствование процессов объемной штамповки. – М. : МДНТП, 1980. – С. 103–108.
4. Дмитриев А. М. Исследование процесса выдавливания с раздачей / А. М. Дмитриев // Известия вузов. Машиностроение. – 1984. – № 4. – С. 140–148.

5. Гречников В. Ф. *Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки* / В. Ф. Гречников, А. М. Дмитриев, В. Д. Кухарь и др. ; под общ. ред. А. Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение. 1985. – 184 с.
6. Калюжный В. Л. *Сравнительный анализ процессов обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей изделий с полостью постоянного диаметра* / В. Л. Калюжный, Л. И. Алиева, И. П. Куликов // *Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 4(37). – С. 87–92.
7. Калюжный В. Л. *Определение усилий извлечения пуансона из сдеформированной заготовки и выталкивания заготовки из матрицы при холодном выдавливании полых изделий с разной степенью деформации* / В. Л. Калюжный, Л. И. Алиева, В. Н. Горноста́й // *Усовершенствование процессов и оборудования для обработки давлением в металлургии и машиностроении : сб. науч. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 1(42). – С. 90–100.
8. Калюжный В. Л. *Аналіз схем холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів* / В. Л. Калюжний, А. М. Потятиник // *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник.* – Луцьк : НТУ, 2017. – № 59. – С. 137–143.
9. Овчинников А. Г. *Основы теории штамповки выдавливанием на прессах* / А. Г. Овчинников. – М. : Машиностроение, 1983. – 200 с.

REFERENCES

1. *Kovka i ob#emnaja shtampovka : spravochnik. V 4-ht.* / Red. sovet: E. I. Semenov (pred.) i dr. – Т. 3. *Holodnaja ob#emnaja shtampovka / Pod red. G. A. Navrockogo.* – М. : Mashinostroenie, 1987. – 384 s.
2. *Dzhonson U. Teorija plastichnosti dlja inzhenerov / U. Dzhonson, P. B. Mellor ; per. s angl. A. G. Ovchinnikova.* – М. : Mashinostroenie, 1979. – 567 s.
3. *Ovchinnikov A. G. Prjamoe vydavlivanie cilindricheskikh stakanov / A. G. Ovchinnikov A. V. Habarov // V kn. : Sovershenstvovanie processov ob#emnoj shtampovki.* – М. : MDNTP, 1980. – S. 103–108.
4. *Dmitriev A. M. Issledovanie processa vydavlivanija s razdachej / A. M. Dmitriev // Izvestija vuzov. Mashinostroenie.* – 1984. – № 4. – S. 140–148.
5. *Grechnikov V. F. Progressivnye tehnologicheskie processy holodnoj shtampovki / V. F. Grechnikov, A. M. Dmitriev, V. D. Kuhar' i dr. ; pod obshh. red. A. G. Ovchinnikova.* – М. : Mashinostroenie. 1985. – 184 с.
6. *Kaljuzhnyj V. L. Sravnitel'nyj analiz processov obratnogo vydavlivanija i prjamogo vydavlivanija s razdachej izdelij s polost'ju postojannogo diametra / V. L. Kaljuzhnyj, L. I. Alieva, I. P. Kulikov // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2013. – № 4(37). – S. 87–92.
7. *Kaljuzhnyj V. L. Opredelenie usilij izvlechenija puansona iz sdeformirovannoj zagotovki i vytalkivanija zagotovki iz matricy pri holodnom vydavlivanii polyh izdelij s raznoj stepen'ju deformacii / V. L. Kaljuzhnyj, L. I. Alieva, V. N. Gornostaj // Usovershenstvovanie processov i oborudovanija dlja obra-botki davleniem v metallurgii i mashinostroenii : sb. nauch. trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2016. – № 1(42). – S. 90–100.
8. *Kaljuzhnyj V. L. Analiz shem holodnogo vidavljuvannja visesimetrichnih porozhnistih virobiv / V. L. Kaljuzhnyj, A. M. Potjatinik // Naukovi notatki. Mizhvuziv's'kij zbirnik.* – Luc'k : NTU, 2017. – № 59. – S. 137–143.
9. *Ovchinnikov A. G. Osnovy teorii shtampovki vydavlivaniem na pressah / A. G. Ovchinnikov.* – М. : Mashinostroenie, 1983. – 200 с.

Калюжный В. Л. – д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» ;

Потятиник А. М. – аспірант НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» ;

Малій Х.В. – канд. техн. наук, асист. каф. ОМТ ДДМА.

НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

E-mail: kwl_2011@ukr.net; electrosupport@ukr.net; kristina.v.goncharuk@gmail.com