

Гаряче видавлювання із високовуглецевої сталі конусних порожнистих виробів

В.Л. Калюжний¹ • Л.І. Алієва² • О.С. Ярмоленко¹ • С.В. Ситник¹

Received: 23 September 2022 / Accepted: 14 November 2022

Анотація. Робота присвячена дослідженню нового способу гарячого прямого-зворотного видавлювання пустотілих конічних виробів з високовуглецевої сталі і встановлення параметрів для проектування технології. Розглянутий спосіб дозволяє отримувати за один перехід пустотілі вироби з різною товщиною стінки по висоті, при чому товщина стінки у верхній частині виробу може бути більшою за товщину у донній частині. Моделюванням з використанням методу скінченних елементів визначені розміри вихідної заготовки, які забезпечують одночасну течію металу в прямому та зворотному напрямках в процесі формоутворення виробу, що знижує зусилля деформування. Застосування такого способу також призводить до зменшення розігріву деформуючого інструменту завдяки зменшенню площі контакту zdeформованої заготовки з інструментом. Визначена швидкість деформування для забезпечення температурного інтервалу видавлювання. Встановлені залежності зусилля видавлювання, виїмання пуансона з zdeформованої заготовки, виштовхування виробу з матриці від переміщення відповідного інструменту. Знайдені кінцеві форма та розміри виробу з розподілом температури і деформацій. Для максимальної величини зусилля видавлювання виявлені розподіли питомих зусиль на контактуючі поверхнях пуансона, матриці, виштовхувача і напруження по об'єму zdeформованої заготовки. По отриманим даним може бути розроблена технологія прямого-зворотного видавлювання і реалізована на універсальному пресовому обладнанні, яка має високу продуктивність за рахунок зменшення кількості переходів штампування. Приведена конструкція штампку з примусовим охолодженням матриці для видавлювання виробів конкретних розмірів.

Ключові слова: гаряче пряме-зворотне видавлювання, конічний пустотілий виріб, метод скінченних елементів, зусилля деформування, напруження, інтенсивність деформацій, штампове оснащення.

Вступ

Для виробництва із важкодеформівних матеріалів порожнистих виробів зі стінкою постійної або змінної товщини використовують гаряче зворотне видавлювання. Процеси гарячого зворотного видавлювання циліндричних порожнистих виробів із сталей достатньо добре вивчені в джерелі [1], в якому наведені рекомендації по проектуванню технології і штампового оснащення. Використання зворотного видавлювання для виготовлення конусних порожнистих виробів призводить до виникнення певних складнощів. Конусні вироби з товщиною стінки у верхній частині більшою за

товщину стінки у донній частині неможливо отримати за один перехід зворотного видавлювання по причині незаповнення зазору між матрицею і пуансоном. При цьому мають місце значні площі контактуючих поверхонь між пуансоном, виштовхувачем і заготовкою, а також між матрицею і заготовкою, що є причиною розігріву деформуючого інструменту при гарячому пластичному формоутворенні, а також значного зростання зусиль деформування, вилучення пуансона із zdeформованої заготовки та виштовхування її з матриці. В останній час авторами [2] розроблений новий спосіб виготовлення конусних порожнистих виробів шляхом виконання прямого-зворотного видавлювання, який усуває вказані недоліки. Деформування по цьому способу зображене на рис. 1. Тут ліворуч від вісі симетрії наведений вихідний стан перед видавлюванням, а праворуч – в процесі видавлювання. Вихідна циліндрична або конусна заготовка 1 встановлена в матриці 2, в якій

✉ В. Л. Калюжний
kwl_2011@ukr.net

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

розміщений виштовхувач 3. Деформування з прикладанням зусилля P_d виконується пуансоном 4. Завдяки опусканню пуансона 4 отримується виріб 5. При цьому сили тертя, які виникають між пуансоном і заготовкою, що деформується, сприяють прямому видавлюванню, а сили тертя між матрицею і заготовкою – зворотному видавлюванню. Формування порожнини відбувається при зміщенні заготовки в напрямку виштовхувача, а донної частини – при досягненні металом поверхні виштовхувача. Одночасна течія металу в двох напрямках при формоутворенні створює менш жорстку схему напруженого стану в осередку деформації і забезпечує зниження зусилля видавлювання P_d та підвищення стійкості деформуючого інструменту в порівнянні зі зворотним видавлюванням. Також зменшується розгрів деформуючого інструменту завдяки пониженому площі поверхонь контакту заготовки з матрицею і виштовхувачем на протязі видавлювання.

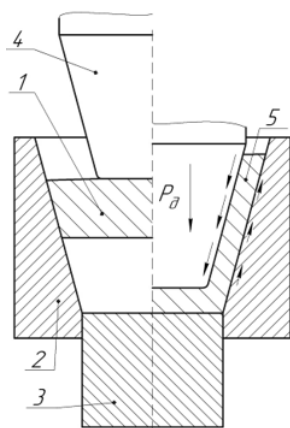


Рис. 1. Спосіб видавлювання конусних порожнистих виробів

Застосування методу скінчених елементів (МСЕ) для визначення параметрів гарячого штампування дозволяє суттєво зменшити час та витрати на підготовку виробництва різноманітних виробів [3, 4]. Особливо високу ефективність має використання МСЕ для встановлення параметрів гарячого штампування виробів з необхідним пропрацюванням структури металу пластичною деформацією по всьому об'єму або в окремих частинах виробів, що актуально для виготовлення снарядів і гільз. Приклади виявлення потрібного пропрацювання на конкретних деталях приведені в роботах [5–8]. Таке пропрацювання приводить до отримання заданих, згідно робочого креслення деталі, механічних властивостей у здеформованому металі виробів.

Метою роботи є встановлення за допомогою методу скінчених елементів параметрів гарячого прямого-зворотного видавлювання із високовуглецевої сталі AISI-1060 вісесиметричного конусного порожнистого виробу з різною товщиною стінки по висоті.

Ескіз виробу представлений на рис. 2. Виріб має порожнину, яка складається із циліндричної частини і

конусної частини. Аналогічну форму має зовнішня поверхня виробу, причому товщина його стінки зменшується по висоті від торця до донної частини. Отримати такий виріб зворотним видавлюванням за один перехід не представляється можливим.

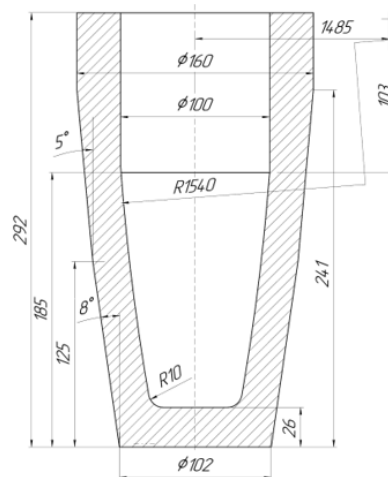


Рис. 2. Ескіз виробу із високовуглецевої сталі AISI-1060

Моделювання гарячого прямого-зворотного видавлювання виконувалося з використанням скінченно-елементної програми DEFORM. Спочатку необхідно було встановити раціональні розміри циліндричної вихідної заготовки для забезпечення формоутворення виробу потрібної форми і розмірів. Температура видавлювання заготовок $T = 1000$ °С. Швидкість переміщення пуансона складала $V_0 = 100$ мм/сек. Тертя враховане по Зібелю з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,3$. Деформуючий інструмент, який був спроектований по розмірах виробу, вважався абсолютно жорстким.

На рис. 3 наведені результати моделювання по впливу діаметра D_0 і висоти H_0 вихідних циліндричних заготовок однакового об'єму на формоутворення при прямому-зворотному видавлюванні. На рис. 3а зображені форма і розміри здеформованої заготовки при видавлюванні із $D_0 = 146$ і $H_0 = 165,5$ мм. Тут і надалі показані половина здеформованої заготовки, тонкими лініями наведений деформуючий інструмент, а розміри по всіх представлених в міліметрах. Профіль конусної частини стінки заповнюється металом повністю, але має місце незаповнення в області переходу стінки в циліндричну частину (рис. 3б). Збільшення діаметру до $D_0 = 150$ мм ($H_0 = 157$ мм) дозволяє отримати потрібні форму і розміри виробу (рис. 3в). Для таких розмірів вихідної заготовки нижче викладені результати моделювання. Подальше зростання діаметра заготовки до $D_0 = 154$ мм ($H_0 = 149$ мм) не забезпечує формоутворення області переходу стінки у донну частину (рис. 3г). Таким чином раціональною величиною діаметра для отримання даного виробу є $D_0 = 150$ мм.

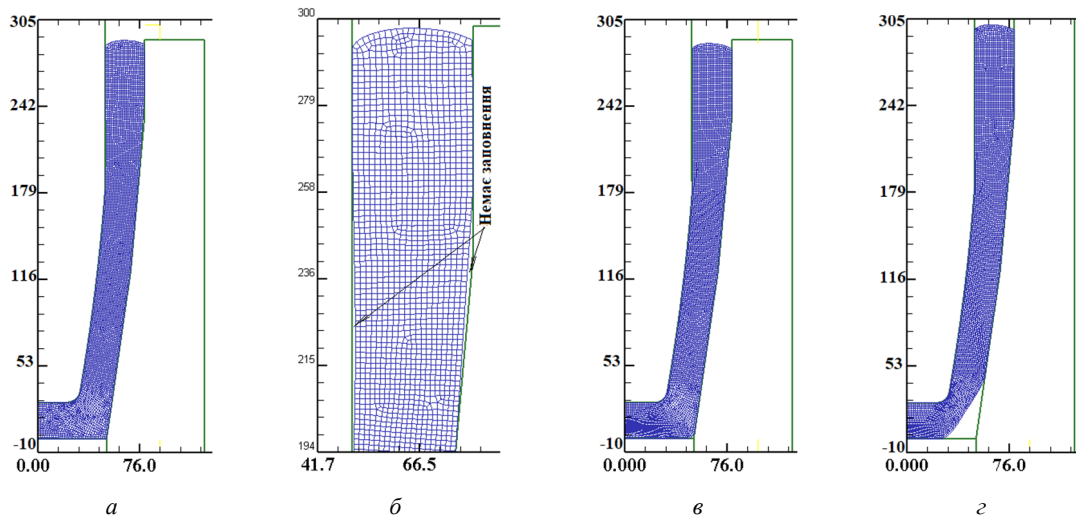


Рис. 3. Вплив розмірів вихідної заготовки на формоутворення при прямому-зворотному видавлюванні: *a* і *б* – $D_0 = 146$ і $H_0 = 168,5$ мм; *б* – $D_0 = 150$ і $H_0 = 157$ мм; *а* – $D_0 = 154$ і $H_0 = 149$ мм

Для такого діаметра проведено моделювання процесів прямого-зворотного видавлювання, вилучення пуансона із zdeформованої заготовки та виштовхування виробу із матриці. На рис. 4 зображені в розрізі розрахункові положення деформуючого інструменту при видавлюванні. Положення на початку видавлювання показане на рис. 4*а*. Вихідна заготовка 1 розміщена в матриці 2, в якій встановлений виштовхувач 3, а деформування виконується пуансоном 4. При цьому заготовка частково виступає із матриці, але вона повністю заштовхується в матрицю на початковій стадії видавлювання із деформуванням по зовнішній поверхні. Формоутворення порожнини при опусканні пуансона 4 відбувається на проміжній стадії видавлювання, коли торець заготовки не досягає виштовхувача 3 (рис. 4*б*). При цьому немає контакту zdeформованої

заготовки з виштовхувачем 3, а поверхня контакту zdeформованої заготовки з матрицею 2 поступово збільшується на протязі видавлювання. Це суттєво зменшує розігрів матриці 2 і виштовхувача 3 в порівнянні з традиційним зворотним видавлюванням. Донна частина zdeформованої заготовки формується на кінцевій стадії видавлювання при досягненні металом поверхні виштовхувача. На рис. 4*в* представлено положення в кінці видавлювання. Після зворотного руху пуансона 4 zdeформована заготовка залишається в матриці 2 (рис. 4*г*). Видалення виробу 5 з матриці 2 здійснюється за допомогою переміщення вгору виштовхувача 3 (рис. 4*д*).

Силкові режими видавлювання та розподіли нормальних напружень на контактуючих поверхнях при максимальному значенні зусилля видавлювання зображені на рис. 5.

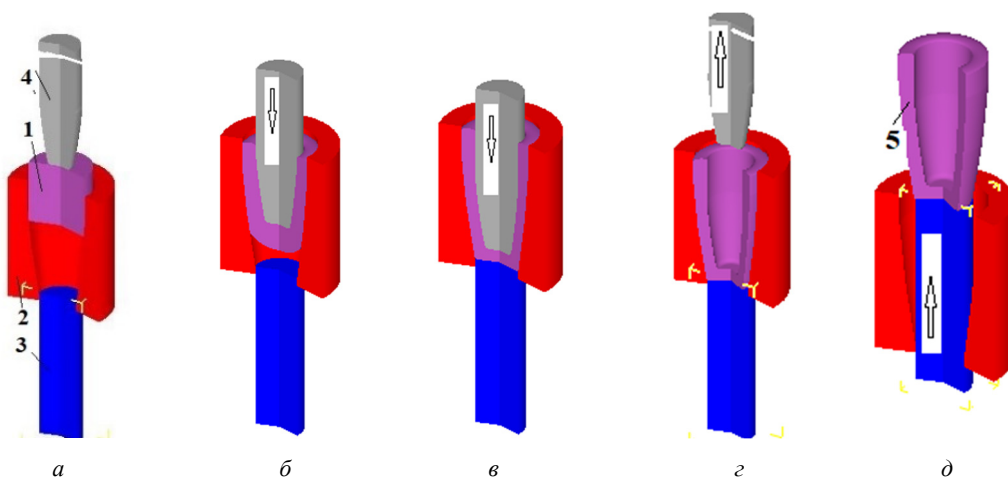


Рис. 4. Положення в розрізі деформуючого інструменту при видавлюванні: *a* – на початку видавлювання, *б* – на проміжній стадії видавлювання, *в* – в кінці видавлювання, *г* – після вилучення пуансона, *д* – після виштовхування виробу

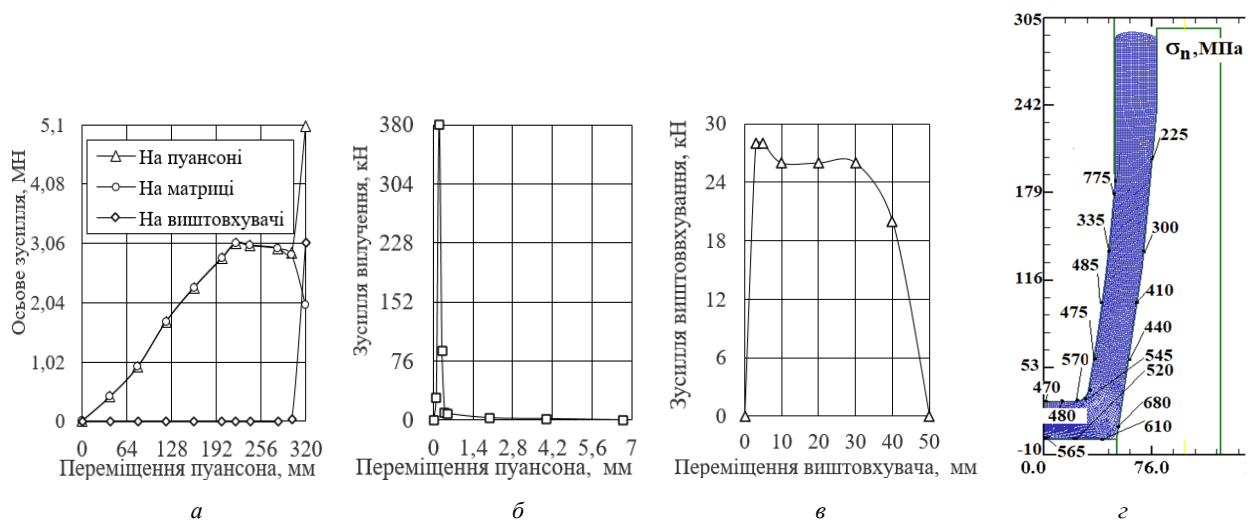


Рис. 5. Силові режими при видавлюванні та розподіли нормальних напружень σ_n : *a* – залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона, *b* – залежність зусилля вилучення пуансона від його переміщення, *c* – залежність зусилля виштовхування від переміщення штовхача, *d* – розподіли σ_n

Залежності осьового зусилля, яке виникає на пуансоні, матриці і виштовхувачі при видавлюванні, від переміщення пуансона показана на рис. 5*a*. Графік зусилля на пуансоні має три стадії. Перша стадія - неусталена, на якій зусилля поступово зростає та досягає величини $Pd = 3,07$ МН при переміщенні пуансона на 220 мм. Далі має місце усталена стадія, на якій відбувається зниження зусилля до $Pd = 2,89$ МН на переміщенні пуансона 300 мм. На третій неусталеній стадії зусилля інтенсивно зростає та досягає максимальної величини $Pd = 5,07$ МН при переміщенні пуансона на 320 мм. Час формоутворення виробу при розглянутій швидкості деформування склав 3,2 секунди. Тут також наведені осьові зусилля, які сприймають виштовхувач та матриця при видавлюванні з досягненням максимальних значень 3,03 МН і 3,06 МН відповідно. Залежність зусилля вилучення пуансона із zdeформованої заготовки від його зворотного переміщення приведена на рис. 5*b*. Максимальне значення цього зусилля склало 380 кН. Залежність зусилля виштовхування виробу із матриці від переміщення штовхача представлена на рис. 5*c*. Найбільше значення зусилля виштовхування досягає 28 кН. Питомі зусилля на деформуючому інструменті можна оцінити по розподілах нормальних напружень σ_n на контактуючих поверхнях zdeформованої заготовки з інструментом при максимальному значенні зусилля видавлювання, які зображені на рис. 5*d*. На поверхні пуансона величини таких напружень отримані у межах $\sigma_n = 335 \div 775$ МПа, на поверхні виштовхувача - $\sigma_n = 565 \div 610$ МПа, а на поверхні матриці - $\sigma_n = 225 \div 610$ МПа. Приведені дані необхідні для вибору пресового обладнання та конструювання штампового оснащення.

Для нового способу прямого-зворотного видавлювання інтересним питанням є встановлення напруженого стану металу в кінці деформування. Розподіли компонент напружень по об'єму половини zdeформованої заготовки приведені на рис. 6. Радіальні напруження у донній частині стискаючі і отримані у межах $\sigma_r = -150 \div -370$ МПа (рис. 6*a*). В конусній частині стінки вони також стискаючі - $\sigma_r = -210 \div -370$ МПа, а в області циліндричної частини стінки радіальні напруження стають розтягувальними. Розподіл осьових напружень σ_z наведений на рис. 6*b*. У донній частині отримано $\sigma_z = -470$ МПа, в конусній частині стінки - $\sigma_z = -140 \div -300$ МПа, а в області циліндричної частини ці напруження також розтягувальні та досягають величини $\sigma_z = 110$ МПа. Вигляд розподілу і величини тангенціальних напружень σ_θ аналогічні радіальним (рис. 6*c*). Найбільші величини інтенсивності напружень $\sigma_i = 130 \div 280$ МПа отримані у донній частині zdeформованої заготовки (рис. 6*e*). З розподілу гідростатичного тиску σ_{cp} (рис. 6*d*) видно, що в області циліндричної частини стінки має місце розтягувальна схема напруженого стану із гідростатичним тиском $\sigma_{cp} = 30 \div 105$ МПа. Як відомо, така схема приводить до зниження зусилля деформування в процесах обробки металів тиском. Тому формоутворення способом прямого-зворотного видавлювання відбувається при понижених силових режимах в порівнянні зі зворотним видавлюванням, при якому практично по всьому об'єму zdeформованої заготовки виникає схема напружень всебічного нерівномірного стискування.

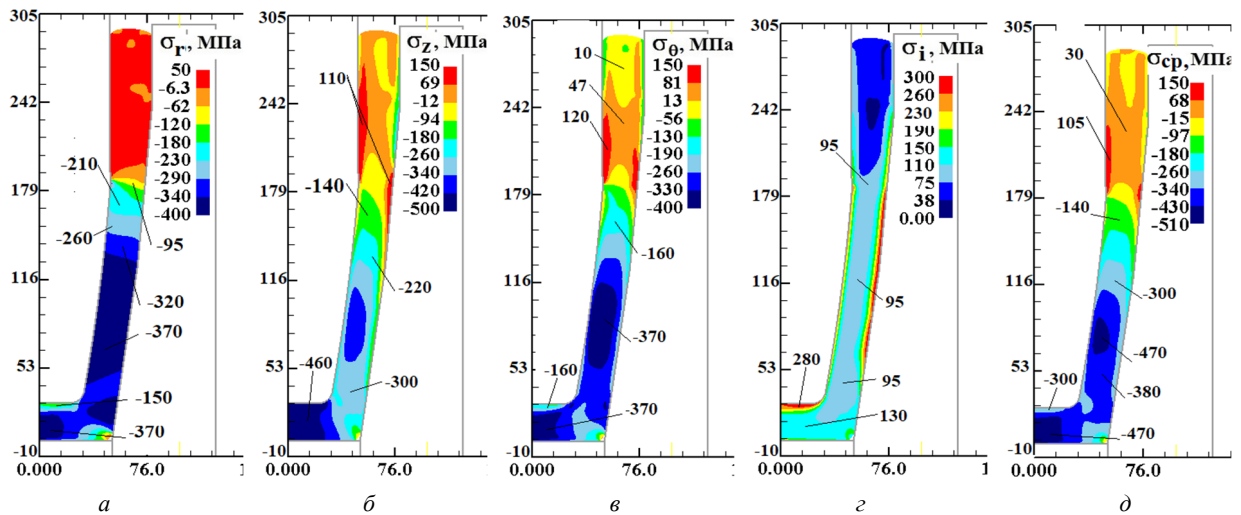


Рис. 6. Розподіли компонент напружень по об'єму zdeформованої заготовки: а – розподіл напружень σ_r , б – розподіл напружень σ_z , в – розподіл напружень σ_θ , г – розподіл інтенсивності напружень σ_i

На рис. 7 зображений розподіл температури у zdeформованій заготовці в кінці видавлювання. Швидкість деформування 100 мм/сек забезпечує температурний інтервал гарячого штампування на протязі формоутворення виробу. Інтенсивне охолодження має місце в шарах металу під торцем пуансона у донній частині zdeформованої заготовки.

Для оцінки пропрацювання структури металу по об'єму виробу встановлений кінцевий zdeформований стан. На рис. 8 представлені розподіли компонент деформацій у половині виробу. У донній частині виникають розтягувальні радіальні деформації в межах $\epsilon_r = 0,15 \div 0,9$ (рис. 8а). По висоті стінки ці деформації стискаючі, причому в шарах металу зі сторони порожнини отримано $\epsilon_r = -0,9$, а в шарах металу біля зовні-

шньої поверхні – $\epsilon_r = -0,4$. Осьові деформації у донній частині стискаючі і досягають величин у межах $\epsilon_z = -0,55 \div -1,9$ (рис. 8б). У стінці виробу вони стають розтягувальними – $\epsilon_z = 0,35 \div 0,8$. Також у стінці і донній частині виробу виникають значні розтягувальні тангенціальні деформації (рис. 8в), які досягають максимальних значень $\epsilon_\theta = 1,1$ в шарах металу стінки зі сторони порожнини та $\epsilon_\theta = 1,3$ отримано по середині донної частини. Чередування стискаючих і розтягувальних компонент деформацій сприяє доброму пропрацювання структури металу гарячою пластичною деформацією. Результуюче пропрацювання можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i , який приведений на рис. 8г. Найбільше пропрацювання має

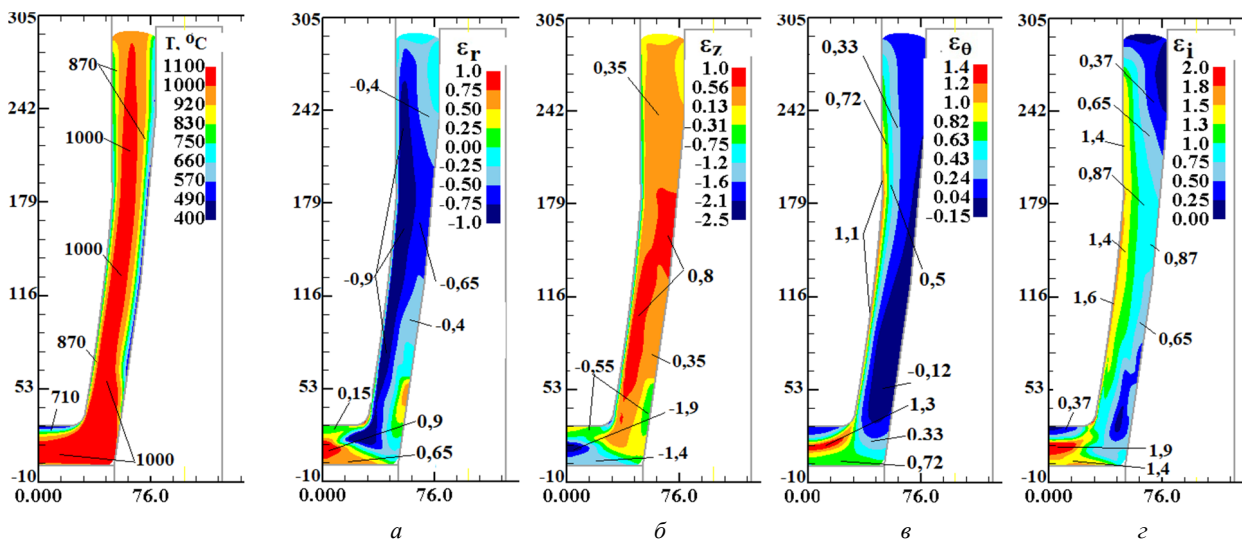


Рис. 7. Розподіл температури T (°C) в кінці видавлювання

Рис. 8. Розподіли компонент кінцевих деформацій по об'єму виробу: а – розподіл деформацій ϵ_r , б – розподіл деформацій ϵ_z , в – розподіл деформацій ϵ_θ , г – розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i

місце у донній частині виробу з досягненням величин інтенсивності деформацій, що змінюється від $\epsilon_i = 0,37$ у шарах металу безпосередньо під торцем пуансона до $\epsilon_i = 1,9$ в області середини дна з подальшим зменшенням до $\epsilon_i = 1,4$ в шарах металу над торцем виштовхувача. Інтенсивне пропрацювання також спостерігається у стінці виробу. У шарах металу зі сторони порожнини отримано $\epsilon_i = 1,4$, зі сторони зовнішньої поверхні – $\epsilon_i = 0,85$. Необхідно відмітити не дуже велику різницю в величинах інтенсивності деформацій по ширині стінки виробу. Розглянутий спосіб, в порівнянні зі зворотним видавлюванням, забезпечує більш рівномірне пропрацювання структури металу по ширині стінки стінки.

Таким чином в результаті моделювання отримані всі необхідні дані для проектування технології прямого-зворотного видавлювання. Визначено зусилля видавлювання, роботу деформації та виштовхування – для вибору гідравлічного або кривошипного пресового обладнання. Встановлені розподіли питомих зусиль на деформуючому інструменті – для розрахунків і проектування цього інструменту. Осьові зусилля на пуансоні, матриці і виштовхувачі дозволяють призначити товщини опорних плит і плит штампу. По інтенсивності деформацій можна прогнозувати механічні властивості у zdeформованому металі стінки і донної частини виробу.

Для реалізації технології видавлювання у виробничих умовах спроектовано конструкцію штампу (рис. 9), яка дозволяє виконати гаряче формоутворення вищеприведеного виробу (див. рис. 2) та здійснити видалення виробу з матриці за допомогою виштовхувача пресу. В нижню плиту 1 штампу сована ступінчата втулка 2, в якій встановлений штовхач 3. З центруванням на плиті 1 розміщена обойма 4, що містить опорну плиту 5, і зафіксована шістьма гвинтами 6. На обоймі 4 розташована матриця 7 з кожухом 8 і виштовхувачем 9. До кожуха 8 приварені два штуцери 10 для під'єднання шлангів з охолоджувальною рідиною, що заповнює порожнину між кожухом 8 та матрицею 7. Причому ліворуч розташований штуцер для входу охолоджувальної рідини, а праворуч – для її виходу. За допомогою кільця 11, шести шпильок 12, шайб 13 і гайок 14 матриця 7 зафіксована на обоймі 4. До верхньої плити 15 штампу шістьма гвинтами 16 прикріплений пуансонотримач 17, в якому розміщені п'ята 18 та під'ятник 19. В пуансонотримачі 17 встановлений пуансон 20 і за допомогою кільця 21 та гайки 22 зафіксований до п'яти 18. П'ята 18 і під'ятник 19 та необхідні для компенсування перекосу, що виникає при встановленні матриці 7 на нижній плиті 1 штампу.

Штамп працює наступним чином. В вихідному положенні віддаль між нижнім торцем пуансона 20 і верхнім торцем матриці 7 повинна бути не менше 250 мм для вільного видалення виробу після видавлювання. Вихідна нагріта заготовка з нанесеним змащен-

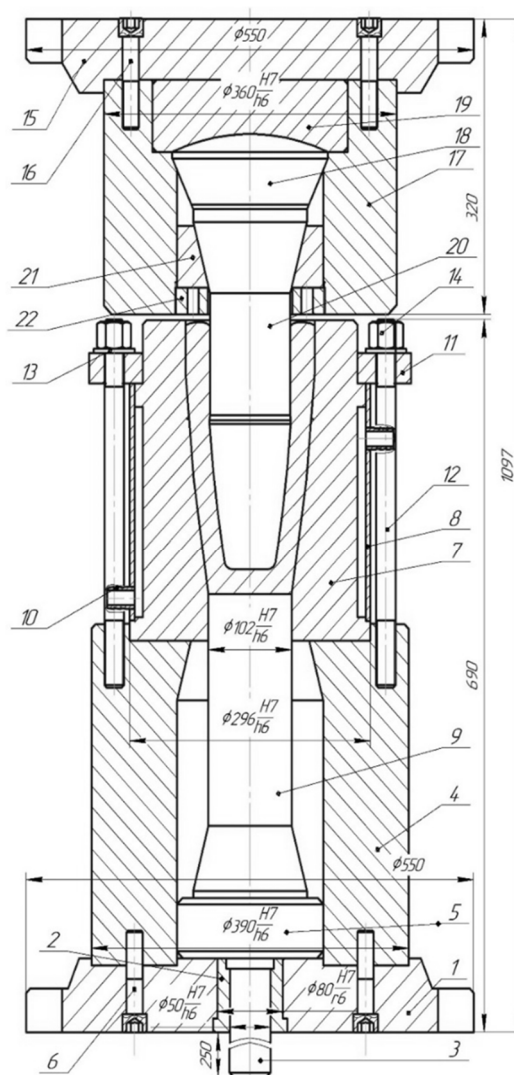


Рис. 9. Ескіз загального вигляду штампу для реалізації видавлювання

ням, яка має торці, що паралельні між собою і перпендикулярні вісі, встановлюється в матриці 7. При опусканні пуансона 20 виконується формоутворення виробу. Видалення виробу з матриці 7 здійснюється штовхачем 3, на який діє виштовхувач пресу. Штовхач 3 зміщує вгору одночасно опорну плиту 5 і виштовхувач 8. Хід виштовхувача пресу повинен бути не менше 200 мм. З урахуванням розробленої конструкції штампу для видавлювання потрібний прес з відкритою висотою більшою за 1500 мм.

Висновки

1. Методом скінченних елементів створена математична модель та проведений розрахунковий аналіз нового способу прямого-зворотного видавлювання конусного вісесиметричного виробу із високовуглецевої сталі.

2. Проведений аналіз безпосередньо видавлювання, вилучення пуансона із здеформованої заготовки та виштовхування виробу із матриці.

3. Моделюванням виявлені розміри вихідної циліндричної заготовки, які забезпечили отримання виробу необхідної форми і розмірів із формуванням конусної порожнини на протязі видавлювання без досягання металом поверхні виштовхувача, що знижує розігрів деформуючого інструменту.

4. Встановлені зусилля видавлювання, вилучення пуансона і виштовхування виробу, а також розподіл питомих зусиль на контактуючих поверхнях здеформованої заготовки з інструментом.

5. Визначені розподіли компонент напружень і гідростатичний тиск у здеформованій заготовці при максимальному зусиллі видавлюванні. При прямому-

зворотному видавлюванні у частині стінки виникає схема напружень із плюсовим значенням гідростатичного тиску, що забезпечує формоутворення конусного порожнистого виробу при зниженому зусиллі в порівнянні зі зворотним видавлюванням.

6. Пропрацювання пластичною деформацією структури металу виробу оцінено по розподілу інтенсивності деформацій. видавлювання по новому способу забезпечує більш рівномірне пропрацювання по ширині стінки виробу.

7. Для реалізації способу в виробничих умовах розроблена конструкція загального вигляду штампа.

8. Подальші дослідження прямого-зворотного видавлювання необхідно проводити в напрямках оцінки впливу швидкості деформування та застосування способу в умовах напівгарячого та холодного видавлювання.

References

- [1] E.Y. Semenova Ed., “Horiachaia ob’emnaia shtampovka”, in *Kovka y shtampovka: Spravochnyk*, 4 Vols., T.2. Moscow: Mashynostroeniye, 1986.
- [2] L.I. Aliieva *et al.*, “Sposib vyhotovlennia detalei typu hilz”, Pat. 141858 Ukraina, No. u201911074, April 27, 2020.
- [3] V.N. Danchenko, A.A. Mylenyn and V.Y. Kuzmenko, *Komp’yuternoe modelirovanie protsessov obrabotki metallor davleniem. Chislennyye metody*, Dnepropetrovsk: Sistemnyye tekhnologii, 2008.
- [4] S.A. Snytko and V.L. Kaliuzhnyi, “Konechno-elementnoe modelirovanie mnogoperekhodnogo formoizmeneniya pri proizvodstve zheleznodorozhnykh koles”, *Vestnik NTUU “KPI”. Mashinostroenie*, No. 11, pp. 106–112, 2011. DOI: 10.1007/s13191-011-0075-8
- [5] Y.S. Alyev, O.E. Markov and Ya.H. Zhbakov, “Vliyanie operatsii vyvorta pokovki konicheskimi plitami na raspredelenie deformatsii”, *Obrabotka materialov davleniem*, Kramatorsk: DGMA, 3(24), pp. 64–69, 2010.
- [6] Y.S. Alyev, Ya.H. Zhbakov and L.V. Tahan, “Upravlenie napryazhenno-deformirovannym sostoyaniem zagotovki v protsessakh kovki krupnykh pokovok”, *Obrabotka materialov davleniem*. Kramatorsk: DHMA, 1(34), pp. 50–59, 2013.
- [7] O.E. Markov, A.O. Sharun and M.S. Kosylov, “Sovremennyye sposoby polucheniya tonkostennykh dnishch otvetstvennogo naznacheniya”, *Obrabotka materialov davleniem*, Kramatorsk: DHMA, 1(44), pp. 115–123, 2017.
- [8] V.L. Kaliuzhnyi and O.S. Yarmolenko, “Zusyillia deformuvannia, napruzhenno-deformovanyi stan i temperaturnyi rozpodil u zdeformovaniy zahotovtsi pry hariachomu zворотному vydavliuvanni porozhnystyykh vyrobiv iz latuni”, *Visnyk NTU «KhPI». Innovatsiini tekhnologii ta obladnannia obrobky materialiv u mashynobuduvannia ta metalurhii*, 23(1299), pp. 28–33, 2018.
- [9] V.L. Kaliuzhnyi *et al.*, “Goryachaya ob'emnaya shtampovka polykh izdelii iz vysokoprochnogo alyuminievogo splava s zadannymi mekhanicheskimi svoistvami”, *Zagotovitel'noe proizvodstvo*, Moscow, 12, pp. 18–25, 2018.

Hot extrusion of high carbon steel cone hollow products

V. Kaliuzhnyi, L. Aliieva, O. Yarmolenko, S. Snytk

Abstract. The work is devoted to researching a new method of hot direct-reverse extrusion of hollow conical products from high-carbon steel and determined parameters for technological design. The considered method makes it possible to obtain in one step hollow products with different wall thickness in height, while the wall thickness in the upper part of the product can be greater than the thickness in the bottom part. The dimensions of the initial workpiece are determined by modeling using the finite element method, which ensures the simultaneous flow of metal in the forward and reverse directions during the process of forming the product, which reduces the deformation force. The use of this method also leads to a decrease in the heating of the deforming tool due to a decrease in the contact area of the deformed workpiece with the tool. The strain rate is determined to ensure the temperature interval of extrusion. The dependencies of the force of extrusion, removal of the punch from the deformed workpiece, pushing the product out of the matrix on the movement of the corresponding tool are established. The final shape and dimensions of the product with the distribution of temperature and deformations were found. For the maximum amount of extrusion force, the distributions of specific forces on the contacting surfaces of the punch, matrix, ejector and stress on the volume of the deformed workpiece were found. According to the obtained data, the technology of direct-reverse extrusion can be developed and implemented on universal press equipment, which has high productivity due to the reduction of the number of stamping steps. The design of the stamp for extruding products of certain sizes with forced cooling of the matrix is given.

Keywords: direct-reverse extrusion, conical hollow product, finite element method, deformation force, stress, strain intensity, stamping equipment.