

# Штампування із маловуглецевої сталі заготовки гільзи середніх розмірів

В. Л. Калюжний<sup>1</sup> • О. С. Ярмоленко<sup>1</sup> • К. Л. Марчук<sup>1</sup>

Received: 18 March 2021 / Accepted: 24 May 2021

**Анотація.** Робота присвячена отриманню із низьковуглецевої сталі заготовки гільзи середніх розмірів. Послідовність переходів штампування включає операцію гарячого зворотного видавлювання, дві операції холодного витягування з потоншенням та операцію холодного обтиску. Моделюванням з використанням методу скінченних елементів встановлені зусилля і питомі зусилля на операціях, тепловий ефект при формозміні, форма і розміри напівфабрикатів з розподілом інтенсивності деформацій. Застосована пружно-пластична модель металу, яка дозволила виявити зусилля діставання деформуючого інструменту із напівфабрикатів та зусилля виштовхування напівфабрикатів із матриць. Зворотним видавлюванням отриманий напівфабрикат з потрібними розмірами виступу на донній частині зі сторони порожнини і виступом на торці для формоутворення фланця. Показана можливість виконання першого витягування через три послідовно розташовані матриці. Після цієї операції потрібний відпал напівфабрикату для відновлення пластичності. На другій операції витягування з потоншенням і доштампуванням донної частини забезпечуються кінцеві розміри цієї частини зі сторони порожнини і формоутворення фланця на боковій поверхні напівфабрикату із створенням макроструктури для забезпечення потрібних експлуатаційних властивостей. Форма і розміри стінки напівфабрикату після другого витягування, розподіл інтенсивності деформацій в ній визначені із умови досягнення кінцевих розмірів і механічних властивостей заготовки гільзи на останній операції обтиску. Для цього при моделюванні обтиску враховані деформації, які отримані в результаті другого витягування.

Запропонована технологія штампування заготовки гільзи може бути реалізована на універсальному ковальсько – пресовому обладнанні, має високу продуктивність та зводить до мінімуму механічну обробку.

**Ключові слова:** заготовка гільзи, метод скінченних елементів, напівфабрикат, зворотне видавлювання, витягування з потоншенням, обтиск, зусилля, нормальні напруження, інтенсивність деформацій.

## Вступ

При виробництві із маловуглецевих сталей заготовок гільз середніх розмірів в основному використовуються наступні операції штампування у такій послідовності: гаряче зворотне видавлювання для отримання порожнистих напівфабрикатів із стінкою постійної товщини по висоті; витягування з потоншенням чи ротаційне видавлювання для зменшення товщини стінки та збільшення висоти напівфабрикатів, причому у отриманих напівфабрикатах стінка має

змінну товщину по висоті; обтиск напівфабрикатів після витягування і ротаційного видавлювання із забезпеченням практично кінцевих розмірів гільз. Сучасне виробництво гільз ставить задачі підвищення продуктивності та зменшення витрат металу в процесах штампування. Переходи гарячого зворотного видавлювання достатньо добре відпрацьовані [1], тому вказані задачі можна вирішити на переходах витягування чи ротаційного видавлювання та обтиску. Останні напрацювання в процесах холодного витягування з потоншенням та холодного обтиску за рахунок використання деформуючого інструменту спеціального профіля забезпечують підвищення ступеня деформації за один перехід та зменшення в два рази кількість переходів отримання виробів такими процесами [2–4]. Очевидно, якщо замість ротаційного видавлювання використати витягування з потоншенням

✉ В. Л. Калюжний  
kwl\_2011@ukr.net

<sup>1</sup> Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

ням пуансоном спеціального профіля, то можна суттєво підвищити продуктивність при виготовленні сталевих гільз, а також значно знизити витрати металу за рахунок зменшення напусків на механічну обробку. Застосування обтиску в матриці спеціального профіля дозволяє зменшити зусилля деформування та практично виключити вірогідність втрати стійкості тонких стінок порожнистих напівфабрикатів при обтиску в холодному стані та отримати кінцеві розміри гільз без використання токарної обробки. Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією при обтиску та на попередній операції витягування з потоншенням також може забезпечити потрібні механічні властивості у здеформованому металі по висоті стінки заготовки гільзи.

Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів гарячого штампування дозволяє суттєво зменшити час та витрати на підготовку виробництва різноманітних виробів [5]. Особливо високу ефективність має використання МСЕ для встановлення параметрів гарячого та холодного штампування виробів з необхідним пропрацюванням структури металу пластичною деформацією по всьому об'єму, або в окремих частинах виробів. Приклади виявлення потрібного пропрацювання на конкретних деталях, в тому числі на порожнистих виробах із кольорових металів, приведені в роботах [6–10]. Таке пропрацювання приводить до отримання заданих згідно робочого креслення деталі механічних властивостей у здеформованому металі.

Відомо, що в процесах обтиску порожнистих напівфабрикатів відбувається потовщення стінок. Тому виникають значні складнощі по встановленню величини потовщення при обтиску напівфабрикатів, які мають стінку змінної товщини по висоті, що потребує призначення напусків і проведення токарної обробки, або виконання додаткових експериментальних робіт для виявлення форми і розмірів стінки по висоті напівфабрикату перед обтиском. Авторами [4, 11] запропоновано використання МСЕ для визначення розмірів напівфабрикату після витягування з

потоншенням, який забезпечує отримання кінцевих розмірів стінки гільзи після обтиску без використання токарної обробки.

Метою роботи є використання методу скінченних елементів для встановлення параметрів штампування із маловуглецевої сталі заготовки гільзи середніх розмірів.

Створення математичних моделей і розрахунковий аналіз проведений за допомогою моделювання в програмному комплексі DEFORM і застосуванням циліндричної системи координат.

Перший перехід штампування – гаряче зворотне видавлювання. Вихідна циліндрична заготовка із сталі 20 мала діаметр  $D_o = 109,6$  мм і висоту  $H_o = 32,7$  мм. Температурний інтервал гарячого штампування знаходився в межах  $1000\text{--}850$  °С. Тертя враховане по Зібелю з коефіцієнтом тертя  $\mu = 0,25$ . Швидкість деформування складала  $V_o = 60$  мм/сек. Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту при видавлюванні показані на рис. 1. Положення інструменту на початку видавлювання зображено на рис. 1 а. Вихідна заготовка 1 встановлена на плиті 2 з центруванням по матриці 3. Деформування здійснюється пуансоном 4. При опусканні пуансона 4 отримується напівфабрикат 5, що має виступ на донній частині зі сторони порожнини та круговий виступ на нижньому торці (рис. 1 б). Виступ на торці необхідний для формоутворення фланця на подальших операціях штампування. При зворотному переміщенні пуансона напівфабрикат залишається в матриці (рис. 1 в) та виштовхується з неї за допомогою плити 2 (рис. 1 г).

На рис. 2 приведені залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона, розподіли нормальних напружень нормальних напружень  $\sigma_n$  на контактуючих поверхнях здеформованої заготовки з інструментом при максимальному значенні зусилля деформування та розміри половини отриманого напівфабрикату. Графік зусилля має неусталену і усталену стадії (рис. 2 а). На неусталеній стадії зусилля зростає і досягає максимального значення 5,4 МН

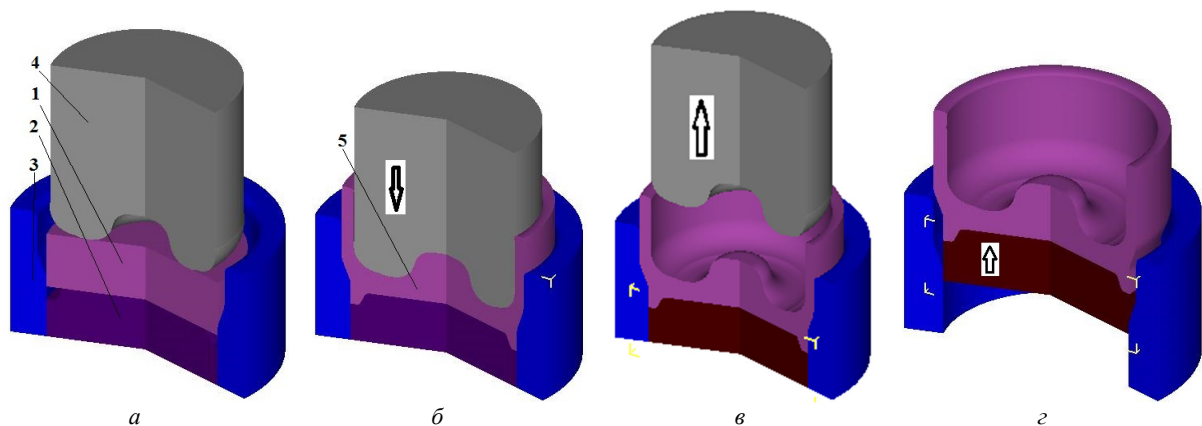
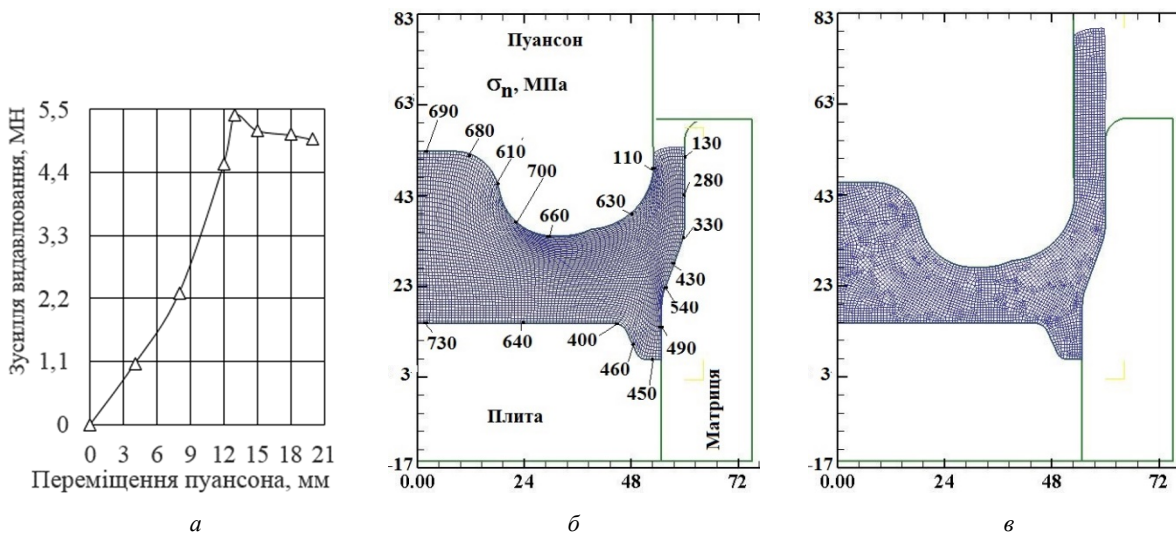


Рис. 1. Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту при видавлюванні: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання, в – при вийманні пуансона, г – при виштовхуванні напівфабрикату

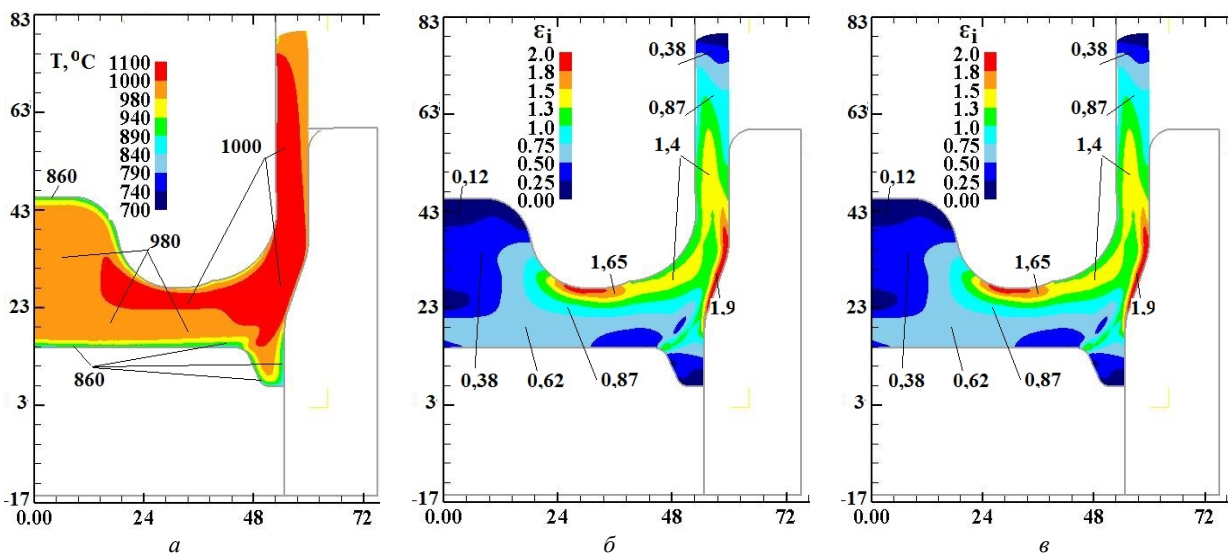


**Рис. 2.** Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона, розподіли нормальних напружень  $\sigma_n$  на контактуючих поверхнях та розміри отриманого напівфабрикату: *a* – залежність зусилля, *б* – розподіли  $\sigma_n$ , *в* – розміри напівфабрикату

при переміщенні пуансона 13 мм. На усталеній стадії зусилля дещо зменшується до кінця видавлювання. Для проектування штампового оснащення потрібно знати розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. Ці зусилля можна оцінити по розподілу нормальних напружень  $\sigma_n$  на поверхнях здеформованої заготовки з інструментом, які виникають при максимальній величині зусилля видавлювання. Розподіли напружень  $\sigma_n$  зображені на рис. 2 б. Тут і надалі представлена половина здеформованої заготовки, тонкими лініями показаний деформуючий інструмент, а розміри по всіх наведени в міліметрах. На поверхні пуансона величини таких напружень отримані у межах  $\sigma_n = 630\text{--}700$  МПа, на поверхні плити –  $\sigma_n = 400\text{--}730$  МПа, а на поверхні матриці –  $\sigma_n = 330\text{--}540$  МПа. Необхідно відмітити, що формоутворення виступів на донній

частині напівфабрикату відбувається на неусталеній стадії видавлювання. На рис. 2 в показані розміри отриманого напівфабрикату.

Розподіли температури  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  та осьових деформацій  $\epsilon_z$  у напівфабрикаті представлені на рис. 3. Розподіл температури зображений на рис. 3 а. Практично по всьому об'єму напівфабрикату температура знаходиться в межах  $T = 980\text{--}1000$   $^{\circ}\text{C}$ . В шарах металу біля поверхні пуансона та біля поверхні матриці температура знижується до  $T = 860$   $^{\circ}\text{C}$ . Пропрацювання структури металу пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій, який наведений на рис. 3 б. Найбільше пропрацювання відбувається у стінці напівфабрикату. Тут отримано  $\epsilon_i = 0,38\text{--}1,9$ , причому



**Рис. 3.** Розподіли температури  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  та осьових деформацій  $\epsilon_z$  у напівфабрикаті після видавлювання: *a* – розподіл  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), *б* – розподіл  $\epsilon_i$ , *в* – розподіл  $\epsilon_z$

зростання іде від області торця стінки до місця переходу стінки у донну частину. В більшому об'ємі донної частини отримано  $\epsilon_i = 0,38 - 1,4$ . Менше пропрацювання відбувається у виступі зі сторони порожнини, в якому ці деформації знаходяться у межах  $\epsilon_i = 0,12 - 0,38$ . Найбільший внесок в інтенсивність деформацій мають осьові деформації, розподіл яких зображений на рис. 3 в. У виступі донної частини зі сторони порожнини виникають розтягувальні деформації в межах  $\epsilon_z = 0,3 - 0,55$ . В об'ємі цієї частини під пуансоном такі деформації стискаючі і досягають значень  $\epsilon_z = -0,65 \div -1,5$ . В стінці отримані розтягувальні деформації, які зростають від  $\epsilon_z = 0,55$  в області торця до  $\epsilon_z = 1,4$  в місці переходу стінки у донну частину. Перший перехід штампування напівфабрикату з достатньою продуктивністю можна реалізувати на гідравлічному пресовому обладнанні зусиллям від 6,3 МН.

Другий перехід штампування заготовки гільзи – це перше холодне витягування з потоншенням. Встановлена можливість такого витягування через три послідовно розташовані конусні матриці. Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту на різних стадіях витягування зображені на рис. 4. Положення на початку витягування представлене на рис. 4 а. Напівфабрикат 1, який отриманий зворотним видавлюванням, розміщений в першій матриці 2. Друга матриця 3 і третя матриця 4 розміщені таким чином, щоб наступне витягування починалося після завершення деформування у попередній матриці. Діаметр отвору матриці 2 складав 113 мм, матриці 3–110 мм, матриці 4 – 109,2 мм. Кут конусних поверхонь матриць дорівнював  $16^\circ$ , довжина калібруючого пояска отвору матриць – 2 мм, радіус закруглення пояска та конусної поверхні 2 мм. Тертя враховане по Кулону з коефіцієнтом тертя  $\mu = 0,08$ . Швидкість

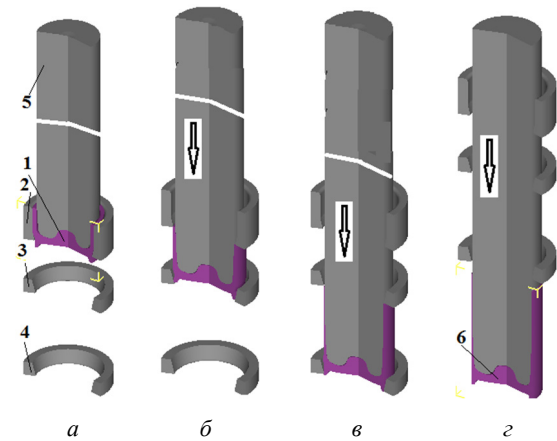


Рис. 4. Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента при першому витягуванні з потоншенням: а – на початку витягування, б – в кінці витягування у першій матриці, в – в кінці витягування у другій матриці, г – в кінці витягування у третій матриці

переміщення пуансона складала  $V_o=7$  мм/сек. Положення після витягування в першій матриці показане на рис. 4 б, в другій матриці – на рис. 4 в, в третій матриці – на рис. 4 г.

Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона, розподіли нормальних  $\sigma_n$  та осьових напружень  $\sigma_z$  при максимальній величині зусилля витягування приведені на рис. 5. Найбільша величина зусилля 867 кН отримана при витягуванні в першій матриці (рис. 5 а). Для вказаної величини зусилля представлені розподіли напружень  $\sigma_n$  (рис. 5 б) і  $\sigma_z$  (рис. 5 в). Величини нормальних напружень представлені в місцях контакту пуансона і матриці із здеформованим напівфабрикатом. При витягуванні ви-

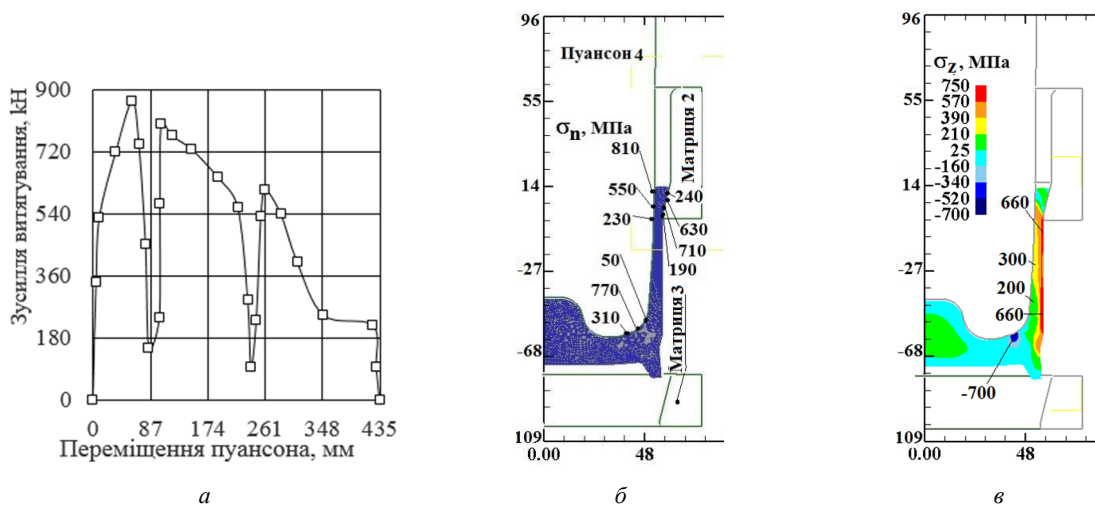
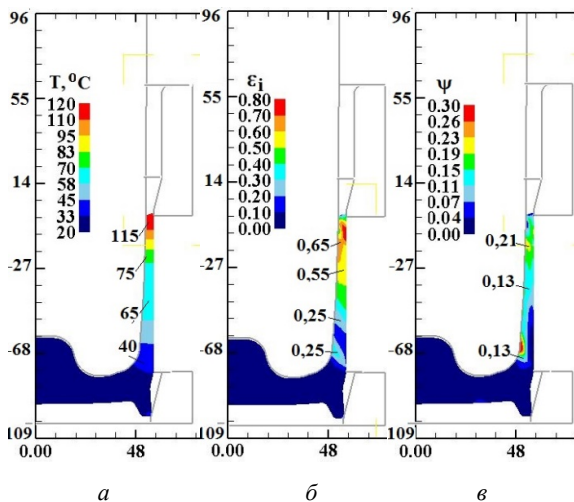


Рис. 5. Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона, розподіл нормальних напружень  $\sigma_n$  на контактуючих поверхнях і розподіл осьових напружень  $\sigma_z$ , а – залежність зусилля, б – розподіл  $\sigma_n$ , в – розподіл  $\sigma_z$

никають значні величини розтягувальних напружень  $\sigma_z$ , які можуть бути причиною відриву донної частини від стінки. В даному випадку напруження величиною  $\sigma_z = 660$  МПа виникають тільки у зовнішніх шарах металу стінки, тому руйнування не відбувається.

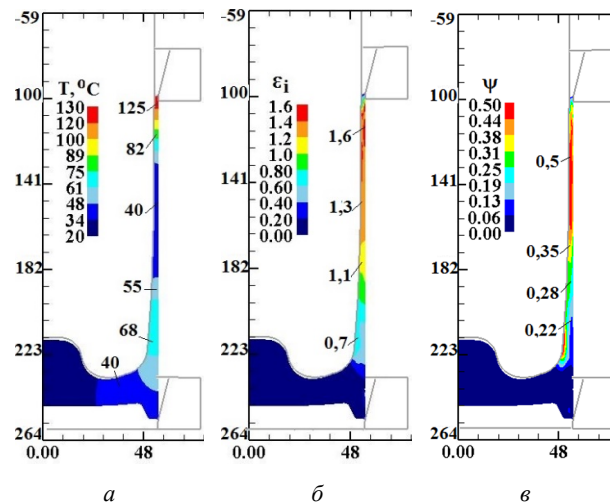
Далі наведені результати моделювання після витягування у кожній із трьох послідовно розташованих матрицях. На рис. 6 представлені розподіли температури, інтенсивності деформацій та вичерпаного ресурсу пластичності у здеформованому напівфабрикаті після витягування в першій матриці. При холодному формоутворенні підвищується температура здеформованого металу та досягає величин у межах  $T=110 - 120$  °C в області торця стінки (рис. 6 а). Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією відбувається нерівномірно по висоті стінки, що можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  (рис. 6 б). Найбільше пропрацювання здійснюється в області торця стінки ( $\epsilon_i = 0,65$ ) з по-



**Рис. 6.** Розподіли температури  $T(^{\circ}\text{C})$ , інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  та вичерпаного ресурсу пластичності  $\psi$  після витягування у першій матриці: а – розподіл  $T(^{\circ}\text{C})$ , б – розподіл  $\epsilon_i$ , в – розподіл  $\psi$

дальшим зменшенням до місця переходу стінки у донну частину ( $\epsilon_i = 0,25$ ). Аналогічний характер має розподіл вичерпаного ресурсу пластичності  $\psi$  здеформованого металу (при  $\psi = 1$  відбувається руйнування), який зображений на рис. 6 в.

Ресурс пластичності вичерпується дещо менше, чим на третину. Такі ж дані у здеформованому напівфабрикаті після витягування у другій із трьох матриць приведені на рис. 7. Температура здеформованого металу підвищується до  $T = 120 - 130$  °C (рис. 7 а). При деформуванні має місце відставання донної частини від торця пуансона, яке складає 0,5–1,0 мм, тому необхідно передбачити калібрування донної частини на переході формоутворення фланця на нижньому торці заготовки гільзи. Суттєво зростає пропрацювання

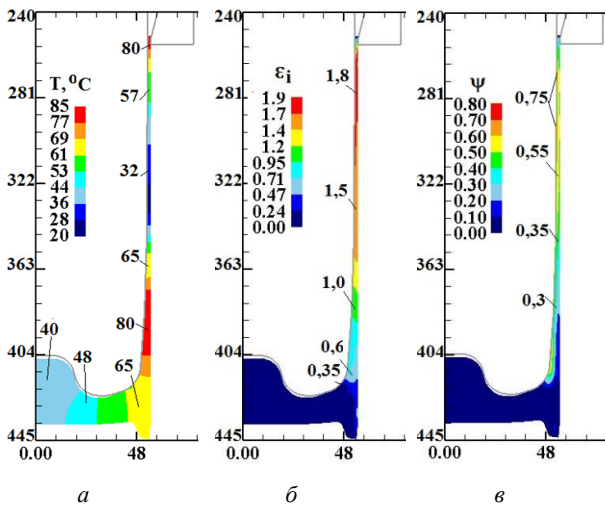


**Рис. 7.** Розподіли температури  $T(^{\circ}\text{C})$ , інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  та вичерпаного ресурсу пластичності  $\psi$  після витягування у другій матриці: а – розподіл  $T(^{\circ}\text{C})$ , б – розподіл  $\epsilon_i$ , в – розподіл  $\psi$

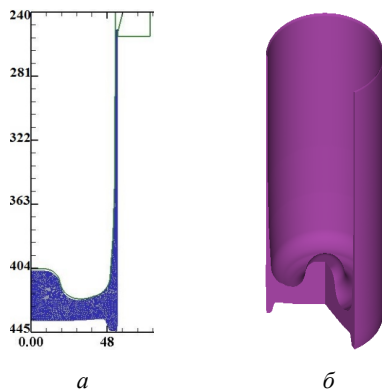
структури металу пластичною деформацією. В області верхнього торця стінки отримана інтенсивність деформацій у межах  $\epsilon_i = 1,4 - 1,6$ , а в місці переходу стінки у донну частину –  $\epsilon_i = 0,4 - 1,7$  (рис. 7 б). Практично наполовину вичерпується ресурс пластичності здеформованого металу (рис. 7 в).

Витягування в останній третій матриці не приводить до підвищення температури здеформованого металу у стінці напівфабрикату, але збільшується температура донної частини (рис. 8 а). Ще дещо зростають величини інтенсивності деформацій у стінці (рис. 8 б) та збільшується величина вичерпаного ресурсу пластичності здеформованого металу (рис. 8 в). Останнє приводить до необхідності використання відпалу здеформованого напівфабрикату перед виконанням наступного переходу витягування з потоншенням. Розміри напівфабрикату та вигляд в розрізі після першого переходу витягування з потоншенням зображені на рис. 9. Перше витягування з потоншенням можна реалізувати на гідравлічному пресі зусиллям 4 МН, причому для підвищення продуктивності на столі такого пресу можна розмістити два штампи та за один хід повзуна отримати одночасно два напівфабрикати. Також таке витягування можна виконати на кривошипному пресовому обладнанні, яке має відкриту висоту та хід повзуна не менше 1000 мм і 400 мм відповідно та забезпечить відповідну продуктивність.

Третій перехід штампування заготовки гільзи – це друге холодне витягування з потоншенням. На цьому переході необхідно отримати форму і розміри напівфабрикату, які забезпечать кінцеві форми і розміри внутрішньої і зовнішньої поверхонь заготовки гільзи на останньому переході штампування (обтиску)



**Рис. 8.** Розподіли температури  $T(^{\circ}\text{C})$ , інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  та вичерпаного ресурсу пластичності  $\psi$  після витягування у третій матриці: *a* – розподіл  $T (^{\circ}\text{C})$ , *б* – розподіл  $\varepsilon_i$ , *в* – розподіл  $\psi$

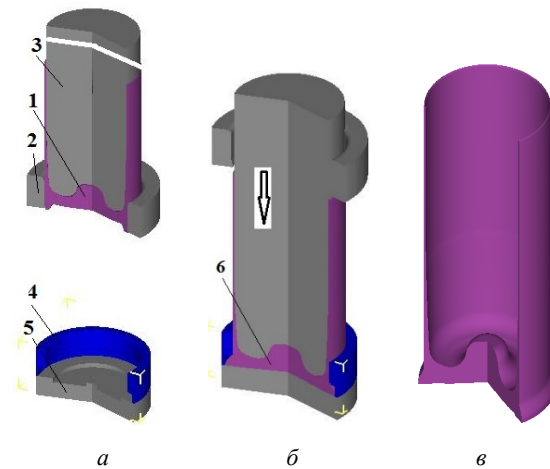


**Рис. 9.** Розміри та вигляд напівфабрикату після витягування з потоншенням через три матриці: *a* – розміри, *б* – вигляд в розрізі

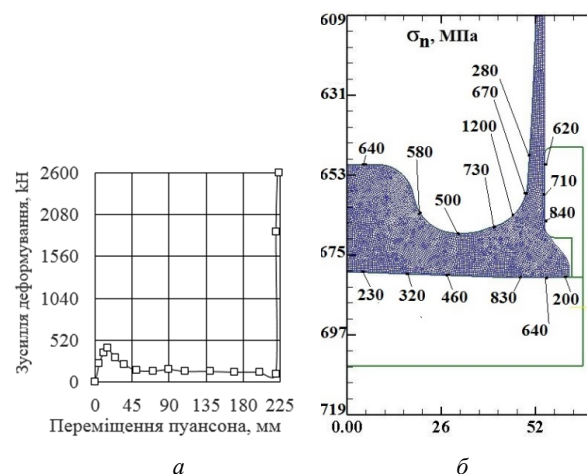
та також виконати формоутворення фланця із забезпеченням мінімальних припусків на обробку різанням донної частини заготовки гільзи. Спочатку моделюванням за допомогою МСЕ були встановлені потрібні форма і розміри цього напівфабрикату, який має зовнішню циліндричну частину, а також визначений ступінь деформації при витягуванні для досягнення за рахунок зміцнення заданих механічних властивостей по висоті стінки заготовки гільзи.

Розрахункові положення деформуючого інструменту при другому витягуванні з потоншенням та вигляд напівфабрикату приведені на рис. 10. Напівфабрикат 1, який отриманий на першому витягуванні, розміщений в конусній матриці 2 з діаметром отвору 108,7 мм. Інші розміри матриці і граничні умови аналогічні попередньому витягуванню. Деформування здійснюється пуансоном 3. Нижче матриці 2 розташовані дві роз'ємні напівматриці 4 та плита 5,

які необхідні для отримання фланця та калібрування донної частини гільзи в кінці витягування. При переміщенні пуансона 3 спочатку виконується витягування, а потім – формоутворення фланця і калібрування донної частини у напівфабрикаті 6. Зусилля деформування та розподіли нормальних напружень на деформуючому інструменті представлені на рис. 11. Залежність зусилля від переміщення пуансона показана на рис. 11 *a*. Максимальна величина зусилля витягування склала 425 кН, а зусилля калібрування та формоутворення фланця досягає 2600 кН. Розподіли нормальних напружень  $\sigma_n$  на поверхнях здеформованого напівфабрикату і інструменту при вказаному зусиллі наведені на рис. 11 *б*. Найбільші



**Рис. 10.** Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту на другому витягуванні з потоншенням: *a* – на початку витягування, *б* – в кінці витягування, *в* – вигляд напівфабрикату



**Рис. 11.** Зусилля деформування та розподіли нормальних напружень  $\sigma_n$  на деформуючому інструменті на другому витягуванні з потоншенням: *a* – залежність зусилля деформування від переміщення пуансона, *б* – розподіли напружень  $\sigma_n$

величини напружень  $\sigma_n$  виникають на торці пуансона і поверхні матриці.

Форма і розміри половини напівфабрикату та розподіл інтенсивності деформацій у його стінці після другого витягування з потоншенням наведені на рис. 12. Як відмічено вище, наведені форма і розміри (рис. 12 а) забезпечують отримання потрібних розмірів заготовки гільзи на останньому переході штампування – холодному обтиску. Розподіл інтенсивності деформацій по висоті стінки зображений на рис. 12 б. Приведений спосіб отримання фланця на боковій поверхні заготовки гільзи шляхом деформування виступу на нижньому торці створює потрібну макроструктуру в здеформованому металі для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей гільзи.

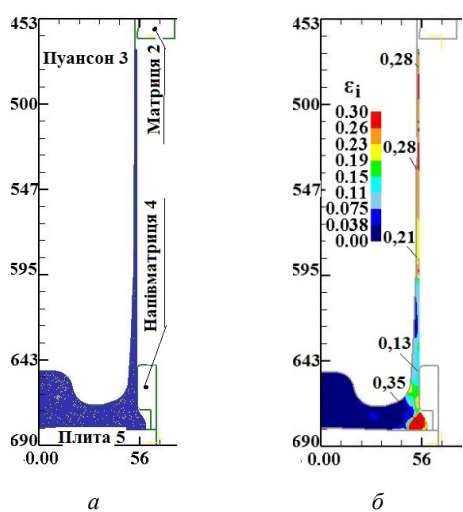


Рис. 12. Розміри напівфабрикату та розподіли інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  у стінці напівфабрикату після другого витягування: а – розміри, б – розподіл  $\epsilon_i$

Третій перехід штампування гільзи також можна реалізувати на гідравлічному пресі зусиллям 4 МН, який має рамну станину. Останній перехід штампування заготовки гільзи – холодний обтиск в матриці, форма і розміри якої відповідають кінцевим розмірам гільзи. Розрахункові положення деформуючого інструменту при обтиску, вигляд заготовки гільзи та розподіл досягнутої інтенсивності деформацій у стінці заготовки показані на рис. 13. Положення на початку обтиску наведене на рис. 13 а. Напівфабрикат 1 після другого витягування з потоншенням із отриманими величинами деформацій розміщений в матриці 2 для обтиску. Деформування здійснюється пуансоном 3. В матриці 2 із зазором, який дорівнює товщині циліндричної частини стінки, розміщена обойма 4, а в обоймі 4 встановлений виштовхувач 5. При опусканні пуансона 3 отримується заготовка гільзи 6 (рис. 13 б). Ця заготовка видаляється з матриці 2 і обойми 4 за допомогою виштовхувача 5 (рис. 13 в) та має вигляд в розрізі, що наведений на рис. 13 г. Розподіл кінцевих величин інтенсивності деформацій, які досягнуті у стінці заготовки гільзи в результаті другого витягування і обтиску, зображений на рис. 13 д. Використовуючи представлені дані по величинах деформацій  $\epsilon_i$  і експериментальну діаграму істинних напружень, графіки зміни межі міцності  $\sigma_s$  та відносного подовження  $\delta$  від ступеня деформації для маловуглецевої сталі, які наведені в джерелі [12], можна прогнозувати величини напруження текучості  $\sigma_s$ , межі міцності  $\sigma_s$  та відносного подовження  $\delta$  по висоті стінки. Наприклад, при величині  $\epsilon_i = 0,13$  у стінці заготовки гільзи мають місце наступні дані:  $\sigma_s = 425$  МПа,  $\sigma_s = 500$  МПа і  $\delta = 10,25$  %. Отримана заготовка гільзи потребує механічної обробки тільки для забезпечення потрібних розмірів фланця і висоти донної частини. На рис. 14 наведені залежність зусилля обтиску від переміщення пуансона та залежність зусилля видалення за-

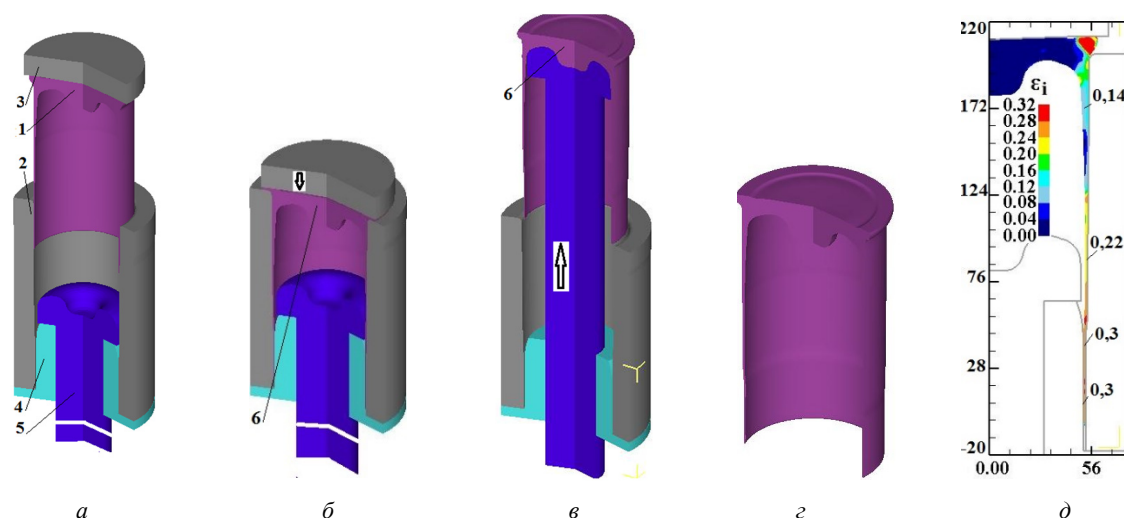


Рис. 13. Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту при обтиску, вигляд в розрізі заготовки гільзи та розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  у стінці заготовки: а і б – положення на початку обтиску та в кінці обтиску, в – положення при виштовхуванні заготовки гільзи, г – вигляд заготовки гільзи, д – розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$



**Рис. 14.** Залежність зусилля обтиску та зусилля видалення заготовки гільзи з матриці від переміщення деформуючого інструменту

готовки гільзи із матриці від переміщення виштовхувача. Зусилля на протязі обтиску постійно зростає та досягає величини 93 кН в кінці обтиску. При видаленні заготовки гільзи з матриці максимальне зусилля 35 кН виникає на початку процесу. Процес холодного

обтиску можна реалізувати на гідравлічному пресі зусиллям 2500 кН.

## Висновки

Приведений скінченно-елементний аналіз переходів штампування із маловуглецевої сталі заготовки гільзи в такій послідовності: гаряче зворотне видавлювання полого напівфабрикату; дві операції холодного витягування з потоншенням; холодний обтиск. 2. Для кожного переходу визначені зусилля деформування, питомі зусилля на інструменті, що потрібно для проектування штампів і вибору пресового обладнання. 3. Встановлені форми і розміри напівфабрикатів, а пропрацювання структури металу пластичною деформацією в них оцінено по розподілу інтенсивності деформацій. 4. Застосування витягування з потоншенням пуансоном спеціального профіля замість ротаційного видавлювання з отриманням напівфабрикату з формою і розмірами, які забезпечують кінцеві розміри гільзи після обтиску, та використання осаджування при отриманні фланця забезпечує підвищення продуктивності виготовлення гільз та зниження витрат металу.

## References

- [1] “Goryachaya ob'emnaya shtampovka”, in *Kovka i shtampovka, Spravochnik*, E.I. Semenov, Moscow, Russia: Mashinostroenie, Vol. 4, T.2., 1986.
- [2] O.V. Kalyuzhniy and V.L. Kalyuzhniy, *Intensifikatsiya formoutvoryuyuchih protsesiv holodnogo listovogo shtampuvannya*. Kyiv, Ukraine: TOV “Sik Grup Ukrayina”, 2015.
- [3] O.V. Kalyuzhniy and S.S. Sokolovska, “Viznachennya parametriv vityaguvannya z potonshennyam zprofilovanim puansonom porozhnistih zagotovok pIslya vidavlyuvannya”, *Seriya “Innovatsiyni tehnologiyi ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgiyi”*, *visnik NTU “HPI”*: Harkiv: NTU “HPI”, No. 36 (1257), pp. 21–28, 2017.
- [4] V.L. Kalyuzhniy, O.S. Yarmolenko, “Intensifikatsiya protsesu holodnogo obtisku porozhnistih naplvfabrikativ dlya ot-rimannya virobiv zi zminnoyu tovschinoyu stinki”, *Mechanics and Advanced Technologies*, No. 1 (85). pp. 111–117, 2019. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2019.85.164271>
- [5] V.N. Danchenko, A.A. Milenin and V.I. Kuzmenko, *Kompyuternoe modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem. Chislennyye metody*, Dnepropetrovsk, Ukraine: Sistemnyie tehnologii, 2008.
- [6] I.S. Aliev, O.E. Markov and Ya.G. Zhbankov, *Vliyanie operatsii vyivorota pokovki konicheskimi plitami na raspredelenie deformatsiy. Obrabotka materialov davleniem*, Kramatorsk: DGMA, No. 3(24). pp. 64–69, 2010.
- [7] S.A. Snitko and V.L. Kalyuzhniy, “Konechno-elementnoe modelirovanie mnogoperehodnogo formoizmeneniya pri pro-izvodstve zheleznodorozhnyih koles”, *Vestnik NTUU “KPI”*. Mashinostroenie. Kiev: NTUU “KPI”. No. 11. pp. 106–112, 2011.
- [8] I.S. Aliev, Ya.G. Zhbankov and L.V. Tagan, “Upravlenie napryazhenno-deformirovannym sostoyaniem zagotovki v protsessah kovki krupnyih pokovok. Obrabotka materialov davleniem”. Kramatorsk: DGMA, No. 1 (34). pp. 50–59, 2013.
- [9] V. Kaliuzhnyi et al., “Simulation of Cold Extrusion of Hollow Parts”, *Metallurgist*, Vol. 61, No. 5–6, September, 2017, (Russian Original No. 5–6, May–June, 2017), pp. 359–365. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0501-1>
- [10] V.L. Kalyuzhniy et al., “Goryachaya ob'emnaya shtampovka polyih izdeliy iz vyisokoprochnogo alyuminievogo splava s zadannyimi mehanicheskimi svoystvami”, *Zagotovitelnoe proizvodstvo*, No. 12. pp. 18–25, 2018.
- [11] V.L. Kalyuzhniy, O.V. Kalyuzhniy and K.L. Marchuk, “Rozrahunok rozmiriv vihidnoyi porozhnistoyi zagotovki iz tonko-yu stinkoyu zminnoyi tovschini ta obtisk yiiv v matritsy z konusno-tsilindrichnoyu deformuyuchoyu poverhneyu”, *Mechanics and Advanced Technologies*, No. 3 (90), pp. 106–112, 2020.
- [12] A.V. Tretyakov and V.I. Zyuzin, *Mechanicheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke davleniem*. Spravochnik. 2nd ed., Moscow: Metallurgiya, 1973.



## Штампование из малоуглеродистой стали заготовки гильзы средних размеров

В. Л. Калюжный, А. С. Ярмоленко, К. Л. Марчук

**Аннотация.** Работа посвящена получению из низкоуглеродистой стали заготовки гильзы средних размеров. Последовательность переходов штамповки включает операцию горячего обратного выдавливания, две операции холодной вытяжки с утонением и операцию холодного обжима. Моделированием с использованием метода конечных элементов установлены усилия и удельные усилия на операциях, тепловой эффект при формоизменении, форма и размеры полуфабрикатов с распределениями интенсивности деформаций. Использована упругопластическая модель металла, которая позволила выявить усилия извлечения инструмента из сдеформированных полуфабрикатов и усилия удаления полуфабрикатов из матрицы. Обратным выдавливанием получен полый полуфабрикат с необходимыми размерами выступа на донной части со стороны полости и выступом на торце для формообразования фланца. Показана возможность осуществления первой операции вытяжки с утонением через три последовательно расположенные матрицы. После этой операции необходим отжиг полуфабриката для восстановления пластичности. На второй операции вытяжки с утонением и доштамповкой донной части обеспечиваются конечные размеры этой части со стороны полости и формообразование фланца на боковой поверхности полуфабриката с созданием макроструктуры для обеспечения необходимых эксплуатационных свойств. Форма и размеры стенки полуфабриката после второй вытяжки, распределение интенсивности деформаций в ней определены из условия достижения конечных размеров и механических свойств заготовки гильзы на последней операции обжима. Для этого при моделировании обжима учтены деформации, полученные в результате второй вытяжки. Предложенная технология штамповки заготовки гильзы может быть реализована на универсальном кузнечно-прессовом оборудовании, имеет высокую производительность и сводит до минимума механическую обработку.

**Ключевые слова:** заготовка гильзы, метод конечных элементов, полуфабрикат, обратное выдавливание, вытяжка с утонением, обжим, усилие, нормальные напряжения, интенсивность деформаций.

## Stamping a medium-sized cartridge blank from low-carbon steel

V. Kaliuznyi, O. Yarmolenko, K. Marchuk

**Abstract.** The work is devoted to obtaining a medium-sized cartridge blank from low-carbon steel. The sequence of punching transitions includes a hot back-extrusion operation, two cold draw-thinning operations, and a cold crimp operation. Modeling using the finite element method established: efforts and specific forces during operations, thermal effect during shaping, shape and size of semi-finished products with distributions of strain intensity. An elastoplastic metal model was used, which made it possible to reveal the forces of extracting the tool from deformed semifinished products and the forces of removing semifinished products from the matrix. A hollow semifinished product with the required dimensions of a protrusion on the bottom part from the side of the cavity and a protrusion on the end for forming a flange is obtained by reverse extrusion. The possibility of carrying out the first drawing operation with thinning through three sequentially located matrixes is shown. After this operation, annealing of the semi-finished product is required to restore plasticity. In the second operation of drawing with thinning and additional stamping of the bottom part, the final dimensions of this part from the side of the cavity and the shaping of the flange on the lateral surface of the semi-finished product are provided with the creation of a macrostructure to ensure the required operational properties. The shape and dimensions of the wall of the semi-finished product after the second drawing, the distribution of the intensity of deformations in it are determined from the condition of reaching the final dimensions and mechanical properties of the cartridge blank at the last crimping operation. For this, the deformations obtained as a result of the second drawing are taken into account when modeling the crimp. The proposed technology for stamping a blank of a sleeve can be implemented on a universal press-forging equipment, has a high productivity and minimizes mechanical processing.

**Keywords:** cartridge blank, finite element method, semi-finished product, reverse extrusion, thinning drawing, crimping, force, normal stresses, deformation intensity.