

Інноваційна технологія штампування заготовки гільзи малих розмірів

В.Л. Калюжний¹ • О.С. Ярмоленко¹ • К.Л. Марчук¹

Received: 23 September 2021 / Accepted: 24 November 2021

Анотація. Робота присвячена розробленню інноваційної технології штампування із низьковуглецевої сталі заготовки гільзи малих розмірів. Послідовність переходів штампування включає операцію холодного зворотного видавлювання, дві операції холодного витягування з потоншенням і холодного обтиску. Моделюванням з використанням методу скінченних елементів визначені зусилля і питомі зусилля на операціях, тепловий ефект при формозміні, форма і розміри напівфабрикатів з розподілом інтенсивності деформації. Використана пружно-пластична модель металу, яка дозволила виявити зусилля деформування, зусилля вилучення інструменту із zdeформованих напівфабрикатів та зусилля видалення напівфабрикатів із матриць. Зворотним видавлюванням отриманий порожнистий напівфабрикат. Показана можливість виконання першого витягування через дві послідовно розташовані матриці з утворенням отвору у донній частині. Після цієї операції потрібний відпал напівфабрикату для відновлення пластичності. Форма і розміри напівфабрикату після другого витягування обтиску визначені із умови досягнення кінцевих розмірів і механічних властивостей заготовки гільзи на останній операції обтиску. Для цього при модулюванні обтиску враховані деформації, що отримані у напівфабрикаті після другого витягування. На кожен перехід штампування розроблена конструкція штампового оснащення. Запропонована технологія штампування заготовки гільзи може бути реалізована на універсальному пресовому обладнанні, має високу продуктивність за рахунок скорочення кількості переходів та зводить до мінімуму механічну обробку.

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

Вступ

При виробництві із маловуглецевих сталей заготовок гільз малих розмірів в основному використовуються наступні операції штампування у такій послідовності: холодне зворотне видавлювання для отримання порожнистих напівфабрикатів із стінкою постійної товщини по висоті; холодне витягування з потоншенням для зменшення товщини стінки та збільшення висоти напівфабрикатів, причому у отриманих напівфабрикатах стінка має змінну товщину по висоті; обтиск напівфабрикатів після витягування із забезпеченням практично кінцевих розмірів гільз. Традиційна технологія ви-

готовлення таких гільз включає 6–8 переходів штампування. Сучасне виробництво гільз ставить задачі підвищення продуктивності та зменшення витрат металу в процесах штампування. Переходи холодного зворотного видавлювання достатньо добре відпрацьовані [1], тому вказані задачі можна вирішити на переходах витягування 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 кількості переходів отримання виробів такими процесами [2–4]. Очевидно, якщо замість ротаційного видавлювання використати витягування з потоншенням пуансоном спеціального профіля, то можна суттєво підвищити продуктивність при виготовленні гільз, а також значно знизити витрати металу за рахунок зменшення напусків на механічну обробку. Застосування обтиску в матриці спеціального профіля

✉ В.Л. Калюжний
kwl_2011@ukr.net

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

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 zdeформованому металі по висоті стінки заготовки гільзи.

Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів штампування дозволяє суттєво зменшити час та витрати на підготовку виробництва різноманітних виробів [5]. Особливо високу ефективність має використання МСЕ для встановлення параметрів 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 виробках із кольорових металів, приведені в роботах [6–10]. Таке пропрацювання приводить до отримання заданих згідно робочого креслення деталі механічних властивостей у zdeформованому 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 розроблення інноваційної технології штампування із маловуглецевої сталі заготовки гільзи малих розмірів.

Створення математичних моделей і розрахунковий аналіз для встановлення параметрів технологічних переходів проведений за допомогою МСЕ в програмному комплексі DEFORM із застосуванням пружно-пластичної моделі металу та циліндричної системи координат.

Перший перехід штампування – холодне зворотне видавлювання. Вихідна циліндрична заготовка мала діаметр $D_0 = 47,8$ мм і висоту $H_0 = 27$ мм. Тертя враховане по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$, що відповідає змащенню фосфатування з омилування, яке використовується в процесах холодного видавлювання. Швидкість деформування складала $V_0 = 7$ мм/сек.

На рис. 1 наведені в розрізі положення деформуючого інструменту при видавлюванні та форма і розміри половини отриманого напівфабрикату. Вихідна заготовка 1 розміщена в матриці 2, в якій встановлений штовхач 3, а деформування виконується пуансоном 4 (рис. 1, а). При опусканні пуансона отримується напівфабрикат 5 (рис. 1, б). При вилученні пуансона напівфабрикат 5 залишається в матриці (рис. 1, в) і видаляється з неї штовхачем 3 (рис. 1, г). На рис. 1 д показані форма і розміри половини напівфабрикату. Тут і надалі розміри на всіх приведено в міліметрах, а деформуючий інструмент показаний тонкими лініями. На торці стінки має місце утяжина.

Силкові режими видавлювання та розподіли нормальних напружень при максимальному значенні зусилля видавлювання зображені на рис. 2. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона показана на рис. 2, а. Графік зусилля має неусталену і усталену стадії. На неусталеній зусилля спочатку зростає повільно, а потім збільшується інтенсивно та досягає максимального значення 2,4 МН при переміщенні пуансона 26 мм. На усталеній стадії зусилля дещо

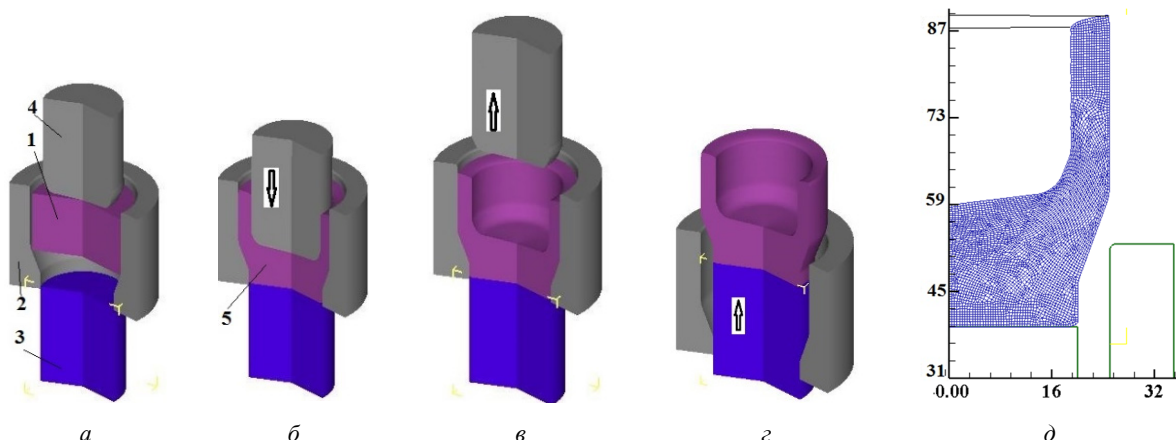


Рис. 1. Положення в розрізі деформуючого інструменту при видавлюванні та форма і розміри половини напівфабрикату: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання, в – при вилученні пуансона, г – при виштовхуванні напівфабрикату, д – форма і розміри половини напівфабрикату

зменшується до кінця видавлювання. Залежність зусилля вилучення пуансона із zdeформованої заготовки від його зворотного переміщення приведена на рис. 2, б. Максимальна цього зусилля склала 53 кН. Залежність зусилля виштовхування напівфабрикату із матриці від переміщення штовхача представлений на рис. 2, в. Найбільше значення зусилля виштовхування досягає 70 кН. Для проектування штампового оснащення потрібно знати розподіли питомих зусиль на деформуючому інструменті при максимальному значенні зусилля видавлювання. Питомі зусилля можна оцінити по розподілах нормальних напружень σ_n на поверхнях zdeформованої заготовки з інструментом. На поверхні пуансона величини таких напружень отримані у межах $\sigma_n = 1170\text{--}2230$ МПа, на поверхні штовхача – $\sigma_n = 1110\text{--}1640$ МПа, а на конусній поверхні матриці – $\sigma_n = 1220\text{--}1850$ МПа. Для реалізації видавлювання по-

трібний гідравлічний прес зусиллям 2,5 МН (наприклад, прес ДБ2434А зусиллям 2,5 МН із зусиллям виштовхувача 500 кН).

Розподіли температури T (°C), ступеню використання ресурсу пластичності ψ та інтенсивності деформацій ϵ_i у напівфабрикаті в кінці видавлювання представлені на рис. 3. При холодному формоутворенні підвищується температура zdeформованого металу та досягає величин у межах $T = 225\text{--}260$ °C в області переходу стінки у донну частину (рис. 3 а). У самій донній частині отримано температуру в межах $T = 100\text{--}165$ °C. Аналогічна температура має місце у стінці напівфабрикату. На рис. 3, б показаний розподіл ступеню використання ресурсу пластичності ψ у zdeформованому металі напівфабрикату. У внутрішніх шарах металу стінки (рис. 3, б) досягнуто величину $\psi = 0,95$ (при $\psi = 1$ починається руйнування металу).

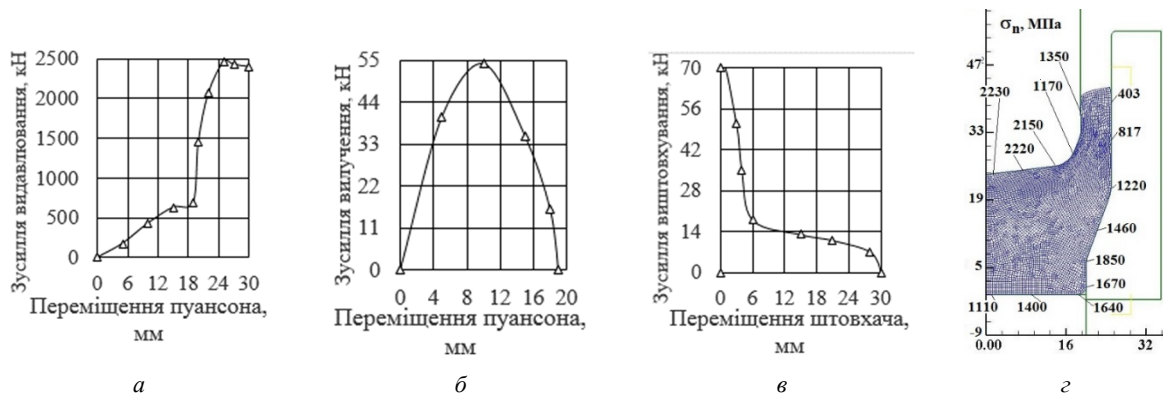


Рис. 2. Силкові режими при видавлюванні та розподіли нормальних напружень σ_n : а – залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона, б – залежність зусилля вилучення пуансона від його переміщення, в – залежність зусилля виштовхування від переміщення штовхача, г – розподіли σ_n

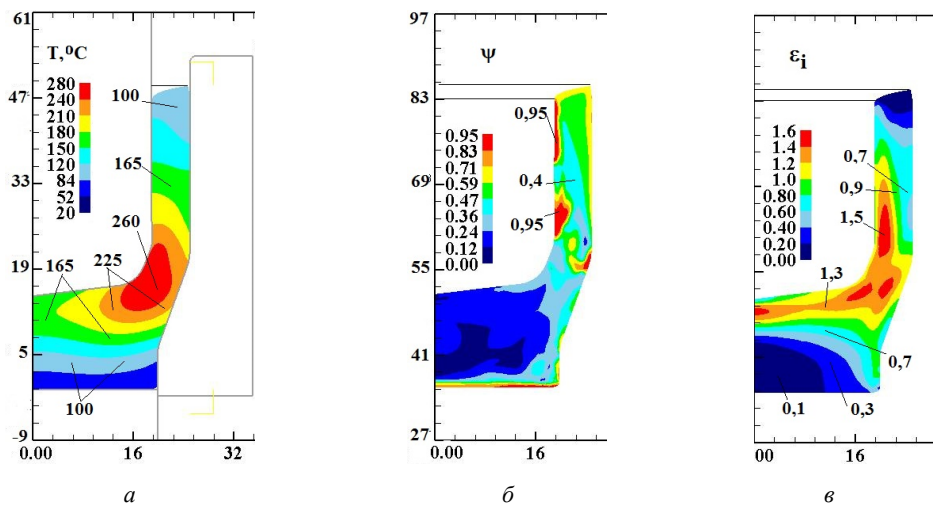


Рис. 3. Розподіли температури T (°C), ступеню використання ресурсу пластичності ψ та інтенсивності деформацій ϵ_i у напівфабрикаті в кінці видавлювання: а – розподіл T (°C), б – розподіл ψ , в – розподіл ϵ_i

Ще одна область у напівфабрикаті з величиною $\psi = 0,95$ виникає в місці переходу конусної частини матриці у циліндричну частину. Пластичність металу практично вичерпується повністю, тому потрібно виконувати відпал напівфабрикату після видавлювання. Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i (рис. 3, в). По ширині стінки напівфабрикату має місце нерівномірне пропрацювання. У шарах металу зі сторони порожнини отримано $\epsilon_i = 1,0-1,5$, а в зовнішніх шарах металу стінки – $\epsilon_i = 0,7$. У донній частині інтенсивне пропрацювання відбувається в області безпосередньо під пуансоном ($\epsilon_i = 1,3$) зі зменшенням до величини у межах $\epsilon_i = 0,1-0,3$ в напрямку торця цієї частини.

На основі даних математичного моделювання розроблена конструкція штампів для зворотного видавлювання порожнистого напівфабрикату, яка наведена на рис. 4. В бандажовану матрицю 1 встановлений виштовхувач 2 з пружиною 22. Матриця 1 з направляючим кільцем 3 розміщена на обоймі 4 з опорною плитою 5. Обойма 4 розташована на нижній плиті 6 прямокутної форми та зафіксована до неї шістьма гвинтами 23. За допомогою кільця 7, шести шпильок 24 і гайок 25 матриця 1 з направляючим кільцем 3 закріплена до обойми 4. В пуансонотримачі 8 розміщені чотири гвинти 26 з пружинами 27. Гвинти 26 вкручені в конусне кільце-знімач 9. Також в пуансонотримачі 8 встановлена опорна плита 10, до якої за допомогою кільця 11 і гайки 12 притискається пуансон 13. Кільце-знімач 9, крім знімання напівфабрикату з пуансона, призначений для додаткового направлення пуансона 13 відносно матриці 1 при видавлюванні. Пуансонотримач 8 зафіксований гвинтами 28 до верхньої плити 14 штампів. В плиті 14 встановлені дві ступінчаті втулки 15, в яких встановлені дві тяги 16, що проходять через нижню плиту 6 штампів також прямокутної форми. До тяг 16 за допомогою шайб 29 і гайок 30 закріплене коромисло 17 із штовхачем 18. У нижню плиту 6 штампів запресовані чотири направляючі колонки 19, а у верхню плиту 14 – відповідно чотири втулки 20 для направлення плит 6 та 14 між собою. На столі преси нижня плита 6 розміщується на додатковій плиті 21 з овальним отвором під коромислом 17. На плиті 6 і 14 мають місце пази для кріплення на столі і повзуні преси.

В вихідному стані штампів відстань між торцем пуансона 13 і матрицею 1 ненабагато більша за висоту напівфабрикату, який отримується видавлюванням. При цьому пружини 27 розтиснуті і кільце знімач 9 опущений. Вихідна заготовка розміщується в матриці 1. При опусканні верхньої плити 14 перед початком видавлювання знімач 9 конусною зовнішньою поверхнею притискається пружинами 27 до кільця 3 і додатково направляє пуансон 13 відносно матриці 1 для зменшення різновтовщинності стінок напівфабрикату. Надалі відбувається процес видавлювання порожнини.

Після видавлювання верхня плита 14 рухається в зворотному напрямку. Спочатку тяги 16 стоять на місці до моменту торкання своїми шлямками втулок 15. Якщо напівфабрикат залишиться в матриці 1, то тяги 16, піднімаючи коромисло 17 із штовхачем 18 приводить в рух опорну плиту 5 і виштовхувач 2. Так забезпечується видалення напівфабрикату із матриці 1. А коли напівфабрикат залишиться на пуансоні 13 і при цьому пружини 27 стиснуті, то за допомогою пружин 27 і знімача 9 відбувається знімання напівфабрикату з пуансона 13. Виштовхувач 2 повертається в вихідне положення за допомогою пружини 22.

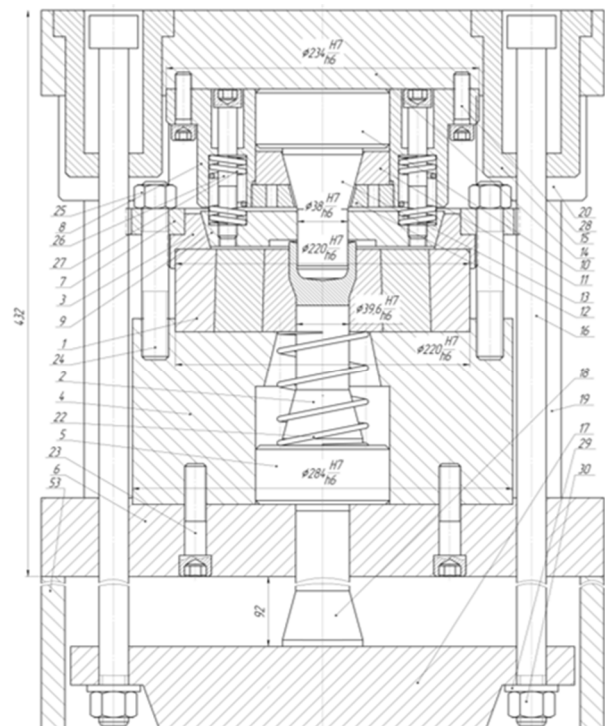


Рис. 4. Конструкція штампів для зворотного видавлювання

Другий перехід при отриманні заготовки гільзи малого калібру – це перше холодне витягування з потоншенням з утворенням отвору у донній частині. При моделюванні витягування також була використана пружно-пластична модель металу. Тертя враховане по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$. Швидкість деформуючого інструменту була $V_0 = 7$ мм/сек. Положення деформуючого інструменту при першому витягуванні з потоншенням та форма і розміри половини отриманого напівфабрикату наведені на рис. 5. На рис. 5, а. показане положення на початку витягування. Напівфабрикат після видавлювання 1 розміщений в матриці 2, під якою встановлені знімачі 3. Друга рухома в осьовому напрямку матриця 4 розташована на відстані від знімачів 3, яка дещо більша за висоту zdeформованого напівфабрикату в результаті витягування. В матриці 4 розміщений нижній пуансон 5 для формоутворення

отвору у донній частині. Деформування виконується пуансоном 6. Положення в кінці витягування зображене на рис. 5, б. При опусканні пуансона 6 спочатку виконується витягування. При цьому zdeформований напівфабрикат розсуває знімачі 3 в горизонтальному напрямку. Знімачі 3 після проходження цього напівфабрикату повертаються назад. Коли нижній торець напівфабрикату досягає матриці 4, вона починає також зміщуватися вниз з однаковою швидкістю із пуансоном 6. Нижнім пуансоном 5 виконується утворення отвору у донній частині із заповненням металом впадини на нижньому торці пуансона 6 (рис. 5, в). В підсумку отримується напівфабрикат 7. При зворотному русі пуансона 6 (рис. 5, г) напівфабрикат 7 виходить із матриці 4 і торцем стінки спирається на знімачі 3. Далі відбувається знімання напівфабрикату 7 з пуансона 6 (рис. 5, д). Форма і розміри половини напівфабрикату, який отриманий на першому витягуванні з потоншенням, показаний на рис. 5, е. Таким чином, наведена схема отримання напівфабрикату 7 забезпечує утворення отвору у донній частині, що приводить до економії металу з однієї сторони, а з іншої – до підвищення стійкості пуансонів при вищенаведеному зворотному

видавлюванні по причині відсутності впадини на торці пуансона (див. рис. 1, б).

Силкові режими витягування показані на рис. 6. Залежність зусилля витягування і видавлювання отвору від переміщення верхнього пуансона представлена на рис. 6, а. Максимальне значення зусилля витягування складало 285 кН. При видавлюванні отвору нижній пуансон сприймає зусилля величиною 140 кН. Залежність зусилля знімання напівфабрикату з пуансона приведена на рис. 6, б. При витягуванні з потоншенням використаний зпрофільований пуансон для створення додаткового тягнучого зусилля за стінку заготовки. Такий пуансон суттєво зменшує осьові напруження в стінці та забезпечує збільшення ступеню деформації за один перехід витягування. Фрагменти такого пуансона і заготовки на початку і в процесі витягування представлені на рис. 7. Фрагменти на початку витягування показані на рис. 7, а. Бокова поверхня пуансона утворена перетином торів постійного діаметру, які розташовані з певним кроком. При витягуванні метал заповнює впадини на поверхні пуансона і за рахунок цього створюється тягнуче зусилля за стінку заготовки (рис. 7 б).

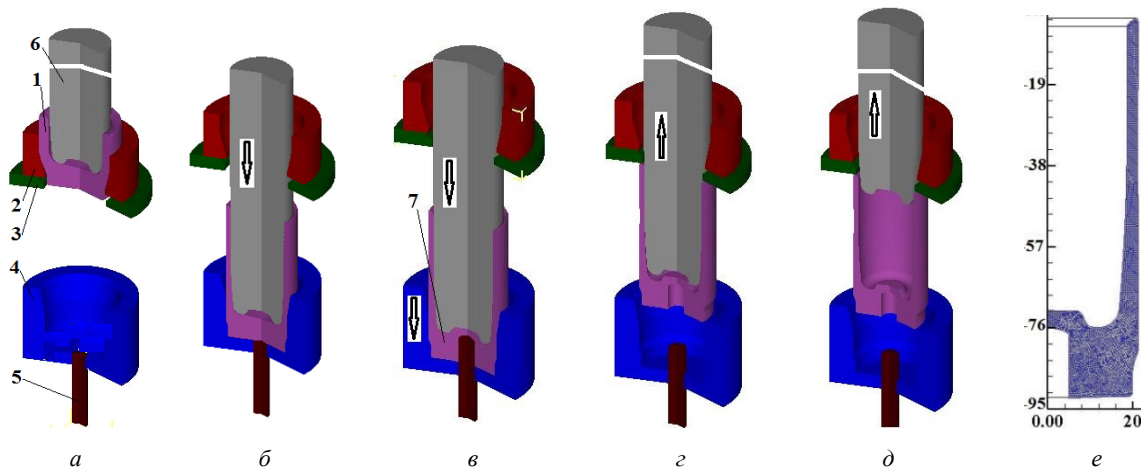


Рис. 5. Положення в розрізі деформуючого інструменту при першому витягуванні і утворенні отвору та форма і розміри напівфабрикату: а – на початку витягування, б – в кінці витягування, в – при утворенні отвору, г – на початку знімання напівфабрикату, д – в кінці знімання, е – форма і розміри напівфабрикату

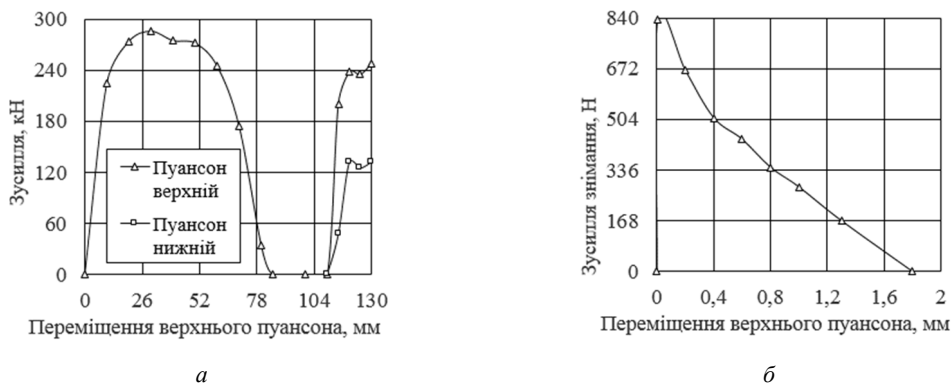


Рис. 6. Силкові режими витягування: а – залежність зусилля витягування від переміщення пуансона, б – залежність зусилля знімання від переміщення пуансона

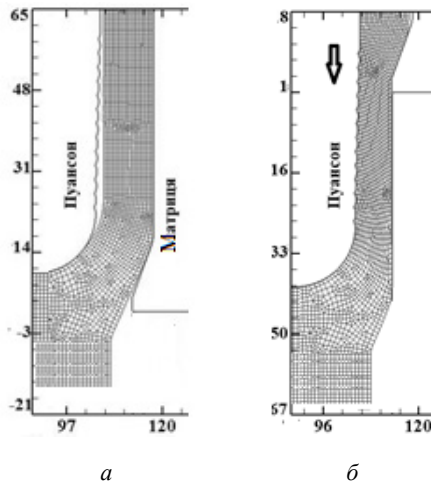


Рис. 7. Фрагмент зпрофільованого пуансона і заготовки: *а* – на початку витягування, *б* – в процесі витягування

Інтенсивне пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією при першому витягуванні з потоншенням відбувається по всій висоті стінки напівфабрикату, що видно по розподілах інтенсивності деформацій ϵ_i і ступеню використання ресурсу пластичності у здеформованому металі по об'єму напівфабрикату, які наведені на рис. 8. У верхній частині стінки отримано інтенсивність деформацій $\epsilon_i = 0,94 \div 1,1$, а в місці переходу стінки у донну частину - $\epsilon_i = 0,28$ (рис. 8 *а*). Також інтенсивне пропрацювання відбувається в шарах металу, які розташовані навколо отвору. Практично вичерпується ресурс пластичності здеформованого металу по висоті стінки напівфабрикату (рис. 8 *б*). У цьому місці отримано $\psi = 0,83 \div 0,95$. Тому після другого переходу штампування витягуванням з потоншенням також потрібно проводити відпал отриманого напівфабрикату.

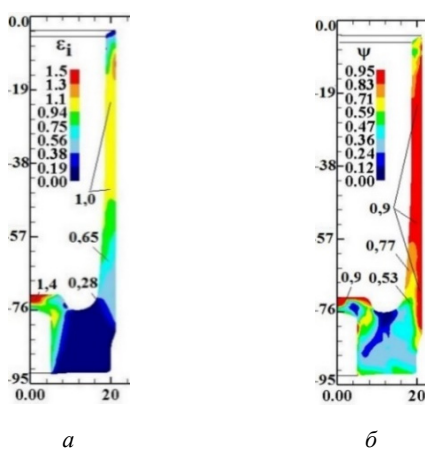


Рис. 8. Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i і ступеню використання ресурсу пластичності у напівфабрикаті: *а* – розподіл ϵ_i , *б* – розподіл ψ

На основі даних моделювання була розроблена конструкція штампу для першого витягування з потоншенням та з утворенням отвору в донній частині, яка показана на рис. 9. Бандажована матриця 1 за допомогою кільця 2 і шести гвинтів 24 прикріплена до проміжної плити 3. Під матрицею 1 в плиті 3 встановлені з можливістю вільного переміщення в поперечному напрямку чотири повзушки 4, які спираються на пружини 25. У плиті 3 вкручені чотири опори 5 та зафіксовані гайками 26 до нижньої плити 6 штампу. Ця плита має пази для встановлення на столі пресу. На плиті 6 гвинтами 27 прикріплена обойма 7, в якій розміщена опорна плита 8. До неї за допомогою конусного кільця 9 і гайки 10 притискується нижній пуансон 11. Також в плиті 6 вкручені чотири шпильки 12, на які надіті пружини 28 і плита 13. Попереднє стискання пружин 28 здійснюється шайбами 14 і гайками 29. На плиті 13 встановлена рухома разом з плитою 13 в осьовому напрямку матриця 15 та закріплена чотирма гвинтами 30. До верхньої плити 16 штампу прикріплений шістьма гвинтами 31 пуансонотримач 17 з опорною плитою 18, до якої за допомогою кільця 19 і гайки 20 притискується пуансон 21. Верхня плита 16 також має аналогічні з нижньою плитою 6 пази для кріплення на повзуні пресу. Також в плиті 16 запресовані дві напрямляючі колонки 22, що розташовані по діагоналі, а проміжну плиту 3 відповідно дві втулки 23. В вихідному стані віддаль між верхнім торцем матриці 1 і нижнім торцем пуансона 21 повинна бути достатньою для вільного встановлення напівфабрикату, який отриманий видавлюванням. При опусканні верхньої плити 16 відбувається витягування в матриці 1. При цьому здеформований напівфабрикат приводить в рух повзушки 4, що стискають пружини 25. Після завершення витягування повзушки 4 повертаються в вихідний стан, а при подальшому переміщенні плити 16 здеформований напівфабрикат заходить в матрицю 15 та шляхом видавлювання за допомогою пуансона 11 відбувається утворення отвору в донній частині. При цьому напівфабрикат нижнім торцем зміщує вниз матрицю 15 та забезпечується стискання пружин 28. Після закінчення видавлювання плита 16 рухається вгору. Під дією пружин 28 плита 13 повертається у вихідне положення, знімаючи отриманий напівфабрикат з пуансона 11. Знімання цього напівфабрикату з пуансона 21 здійснюється повзушками 4. Штмп може бути встановлений на гідравлічний прес ДБ 2432 зусиллям 1,6 МН.

Третій перехід штампування заготовки гільзи – це друге витягування з потоншенням. На цьому переході відбувається формоутворення напівфабрикату, який забезпечить на наступному переході обтиску необхідні форми та розміри порожнини і зовнішньої поверхні заготовки гільзи. При математичному моделюванні використані умови, які аналогічні для попереднього витягування. Встановлена можливість витягування через дві послідовно розташовані матриці, для чого були визначені діаметри отворів першої та другої матриць.

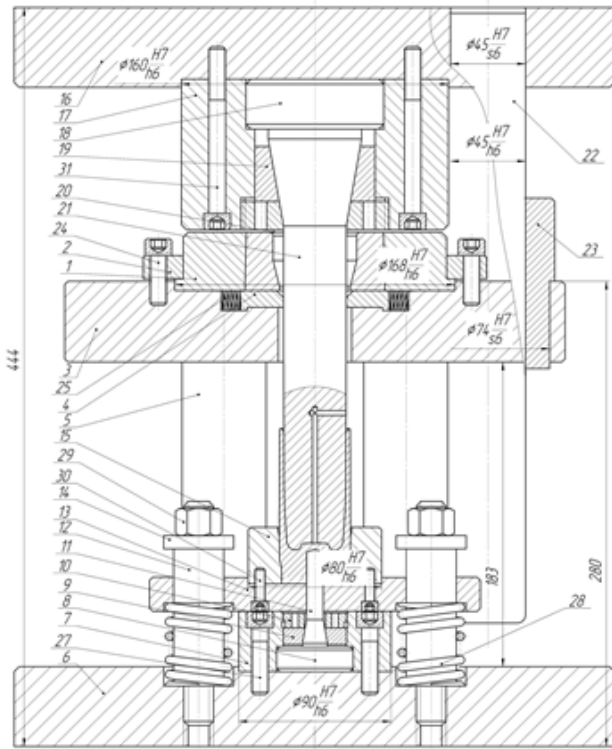


Рис. 9. Конструкція штампу для першого витягування з потоншенням

Положення в розрізі деформуючого інструменту на різних стадіях витягування через дві матриці та форма і розміри отриманого напівфабрикату показані на рис. 10. Положення на початку витягування представлене на рис. 10 а. Напівфабрикат 1 після першого витягування розміщений у першій матриці 2. Друга матриця 3 розташована від першої матриці 2 на віддалі, яка дещо більша за висоту здеформованого напівфабрикату у матриці 2. Під матрицею 3 розташовані рухомі в горизонтальному напрямку знімачі 4. При переміщенні вниз пуансона 5 здійснюється витягування спочатку в матриці 2, а при суттєвому зменшенні зусилля деформування в ній починається витягування в матриці 3. Витягування завершується після проходження знімачів 4 торцем стінки напівфабрикату 6 (рис. 10 б). Після цього знімачі повертаються назад та охоплюють пуансон 5. При зворотному переміщенні пуансона 5 торець стінки отриманого напівфабрикату 6 спирається на знімачі 4 та відбувається знімання напівфабрикату 6 з пуансона. Отриманий напівфабрикат через отвори у нижній плиті штампу і у столі пресу може попадати в накопичувальний ящик. Форма і розміри половини отриманого напівфабрикату приведені на рис. 10 г.

Силкові режими другого витягування представлені на рис. 11. На рис. 11 а показана залежність зусилля витягування від переміщення пуансона. З рисунка видно, що витягування у першій матриці відбувається при максимальному зусиллі 150 кН, а далі зусилля

зменшується практично до нуля і тоді починається витягування у другій матриці та потребує максимального зусилля 135 кН. Сумарне переміщення пуансона при витягуванні складо 300 мм. Для реалізації витягування необхідно використовувати прес з робочим ходом позуна не менше 350 мм. Застосування кривошипного пресового обладнання встановлюється з урахуванням роботи деформації. Залежність зусилля знімання напівфабрикату з пуансона від його переміщення приведена на рис. 11 б. Найбільше зусилля знімання 840 Н отримане на початку знімання, а повністю процес знімання завершується при зворотному переміщенні пуансона біля 2 мм.

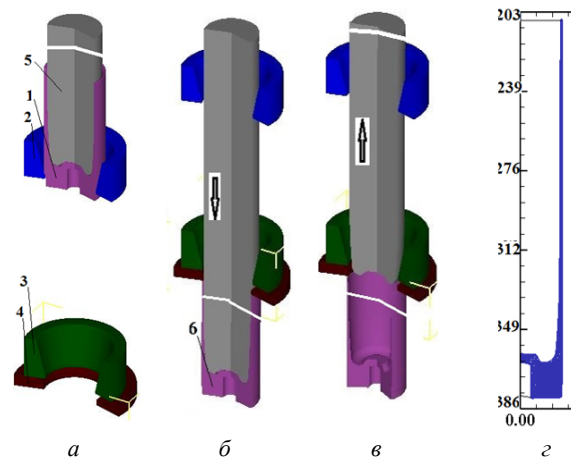


Рис. 10. Положення в розрізі деформуючого інструменту на різних стадіях другого витягування та вигляд напівфабрикату: а – на початку, б – в кінці, в – при зніманні, г – форма і розміри напівфабрикату

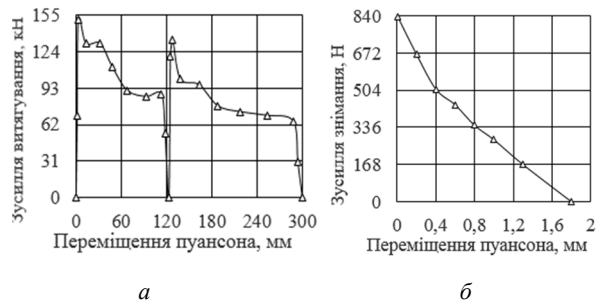


Рис. 11. Силкові режими витягування: а – залежність зусилля витягування від переміщення пуансона, б – залежність зусилля знімання від переміщення пуансона

Розподіли температури у здеформованому металі після витягування у першій матриці та кінцевих інтенсивності деформацій і ступеню використання ресурсу пластичності у здеформованому металі напівфабрикату зображені на рис. 12. На рис. 12 а показаний розподіл найбільшої температури здеформованого металу, який виникає на кінцевій стадії витягування у пер-

пій матриці. В області торця стінки температура здеформованого металу досягає $T = 80 \div 90^\circ\text{C}$. Далі по висоті стінки температура зменшується до $T = 42^\circ\text{C}$ в місці переходу стінки у донну частину. Розподіл інтенсивності деформацій у напівфабрикаті після витягування у другій матриці наведений на рис. 12 б. Залишається нерівномірним пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією по висоті стінки напівфабрикату. У верхній частині стінки отримано $\epsilon_i = 1,0 \div 1,2$, по середині стінки - $\epsilon_i = 0,95$, а в місці переходу стінки у донну частину - $\epsilon_i = 0,52$. Практично вичерпується ресурс пластичності здеформованого металу по висоті стінки напівфабрикату. У вказаному місці отримано $\psi = 0,72 \div 0,9$ (рис. 12 в). Але залишкового ресурсу пластичності буде достатньо для виконання наступного переходу холодного обтиску.

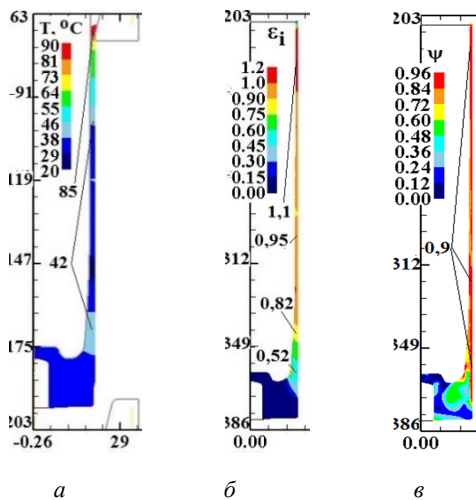


Рис. 12. Розподіл температури $T(^{\circ}\text{C})$, інтенсивності деформацій ϵ_i та вичерпаного ресурсу пластичності ψ при другому витягуванні, а – розподіл $T(^{\circ}\text{C})$, б – розподіл ϵ_i , в – розподіл ψ

На основі результатів моделювання розроблена конструкція штампу для виконання другого витягування з потоншенням, яка показана на рис. 13. В склад штампу входять дві однобандажовані матриці 1 і 2. Матриця 1 встановлена на нижній плиті 3 штампу. Під цією матрицею у пазах на плиті 3 розміщені чотири рухоми повзушки 4, які спираються на пружини 17. Повзушки призначені для знімання з пуансона напівфабрикату, отриманого в результаті витягування. Також на плиті 3 встановлена складова обойма із чотирьох круглих плит 5, 6 і 7. На останній плиті 7 розміщена матриця 2. Конструкція із матриць 1 і 2, плит 5–7 закріплюється до нижньої плити 3 за допомогою шпильок 18, кільця 8, шайб 19 та гайок 20. В кільце 8 запресована ступінчата обойма 9 для направлення і центрування напівфабрикату, що отриманий в результаті першого витягування. До верхньої плити 10 штампу за допомогою

гвинтів 21 прикріплений пуансонотримач 11. В пуансонотримачі 11 розміщені під'ятник 12 і п'ята 13, які мають сферичні опорні поверхні. За допомогою конусного кільця 14 і гайки 15 до п'яти 13 притискується пуансон 16.

В вихідному стані штамп віддаль між торцем пуансона 16 і верхнім торцем ступінчатої обойми 9 повинна бути достатньою для встановлення напівфабрикату після першого витягування. Вказаний напівфабрикат розміщується із центруванням в обоймі 9. При опусканні плити 10 пуансон 16 також із центруванням заходить у напівфабрикат. При цьому виникаючі перекоси компенсуються за рахунок сферичних поверхонь п'яти 13 і під'ятника 12. При витягуванні здеформований напівфабрикат з пуансоном 16 направляються по отвору складової обойми, а сам напівфабрикат проходить через отвір у нижній плиті 3, отвір у столі пресу та розсуває повзушки 4 із забезпеченням стискання пружин 17. В кінці процесу витягування, коли торець стінки отриманого напівфабрикату пройде повзушки 4, вони повертаються назад під дією пружин 17 до упору в бокову поверхню пуансона 16. При зворотному русі пуансона 16 отриманий напівфабрикат повзушками 4 знімається з нього та випадає в накопичувальний ящик через отвір у столі пресу. Такий штамп може бути встановлений на гідравлічному пресі ДГ 2432А зусиллям 1,6 МН.

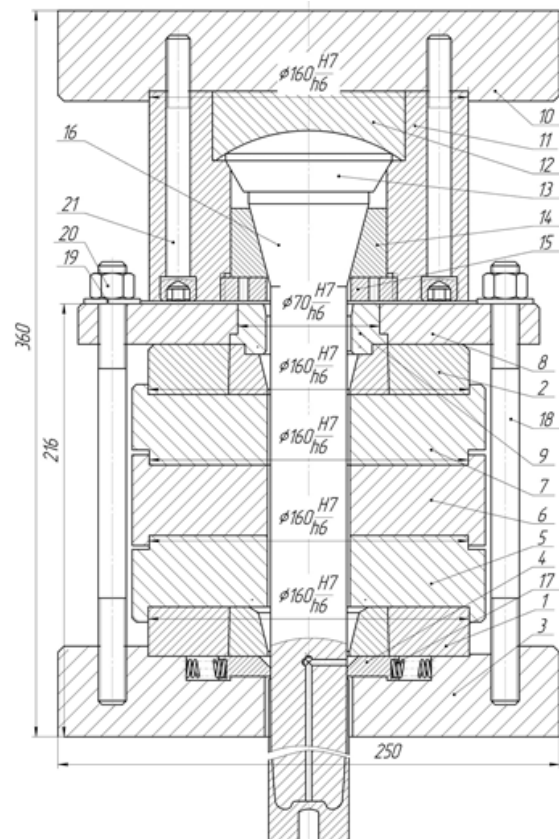


Рис. 13. Конструкція штампу для другого витягування з потоншенням

Останній перехід штампування заготовки гільзи – холодний обтиск. При моделюванні обтиску у напівфабрикаті враховані кінцеві деформації, які отримані в результаті другого витягування з потоншенням. Також використана пружно-пластична модель металу, а тертя визначалося по Кулону із коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$. Швидкість деформуючого інструменту складала $V_o = 4$ мм/сек. Як вище було відмічено, розміри стінки вказаного напівфабрикату визначені з умови отримання кінцевих розмірів заготовки гільзи з урахування потовщення стінки, що відбувається при обтиску.

На рис. 14 зображені в розрізі положення деформуючого інструменту на різних стадіях обтиску, форма і розміри та вигляд заготовки гільзи. На рис. 14 *a* приведені положення на початку обтиску. Напівфабрикат 1, який отриманий після другого витягування, встановлений в матриці 2. В матриці 2 розташований пуансон-виштовхувач 3. Розміри матриці 2 відповідають кінцевим зовнішнім розмірам заготовки гільзи, а зовнішні розміри штовхача 3 – відповідають розмірам стінки горловини. Деформування здійснюється пуансоном 4, при опусканні якого отримується заготовка гільзи 5 (рис. 14 *б*). Положення на початку виштовхування цієї заготовки штовхачем 3 із матриці 2 показане на рис. 14 *в*, а в кінці виштовхування - на рис. 14 *г*. Форма і розміри половини заготовки гільзи приведені на рис. 14 *д*, а загальний вигляд – на рис. 14 *е*.

Проведений аналіз обтиску в традиційній матриці (ТМ) та в матриці спеціального профілю (МСП), в якій деформуюча поверхня утворена перетином торів діаметром 4 мм, що розташовані з кроком 1 мм. Силові режими обтиску наведені на рис. 15. Залежності зусиль

двох варіантів обтиску від переміщення пуансонів представлені на рис. 15 *a*. Зусилля обтиску в обох випадках постійно зростають і досягають максимального значення в кінці обтиску. При обтиску в традиційній матриці (ТМ) отримано зусилля величиною 175 кН, а при обтиску в матриці спеціального профілю (МСП) - 130 кН. На рис. 14 *б* показана залежність зусилля виштовхування заготовки гільзи після обтиску в традиційній матриці. Найбільше значення зусилля виштовхування (45 кН) отримане на початку цього процесу.

На рис. 16 зображені фрагменти здеформованої заготовки при обтиску в матриці спеціального профілю на конусній поверхні (рис. 16 *a*) та в зазорі між матрицею і виштовхувачем (рис. 16 *б*). Застосування матриці спеціального профілю приводить до зменшення площі контакту здеформованого напівфабрикату з матрицею та впливу сил тертя, що привело до зниження зусилля обтиску та забезпечило отримання обтиском заготовки гільзи за один перехід.

На рис. 17 показаний розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i у здеформованому металі заготовки гільзи. В області конусної частини стінки біля переходу у донну частину отримані величини інтенсивності у межах $\epsilon_i = 0,7 \div 1,1$; по середині стінки - $\epsilon_i = 1,4$. В місці переходу конусної частини стінки у горловину отримано $\epsilon_i = 1,55$, а в стінці горловини - $\epsilon_i = 1,6$. По встановлених величинах інтенсивності деформацій та з використанням експериментальних діаграм для розглянутої марки сталі [12] можна встановити межу текучості, межу міцності та відносне подовження здеформованого металу заготовки гільзи.

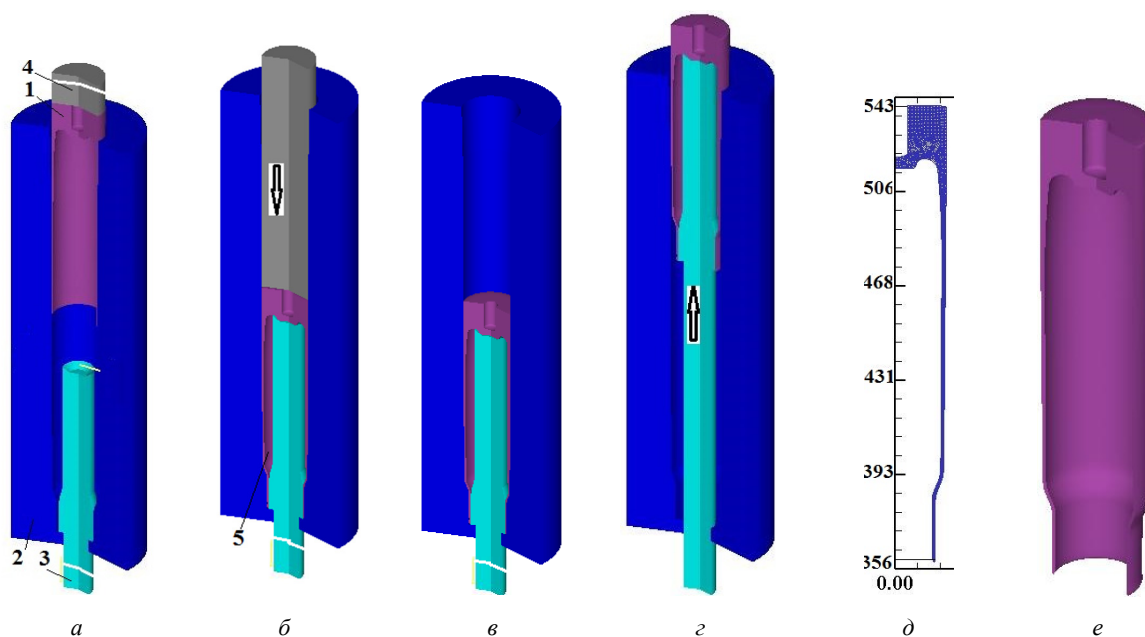


Рис. 14. Положення в розрізі деформуючого інструменту на різних стадіях обтиску, форма і розміри та вигляд заготовки гільзи: *a* – на початку обтиску, *б* – в кінці обтиску, *в* – на початку виштовхування, *г* – в кінці виштовхування, *д* – форма і розміри заготовки гільзи, *е* – вигляд заготовки гільзи

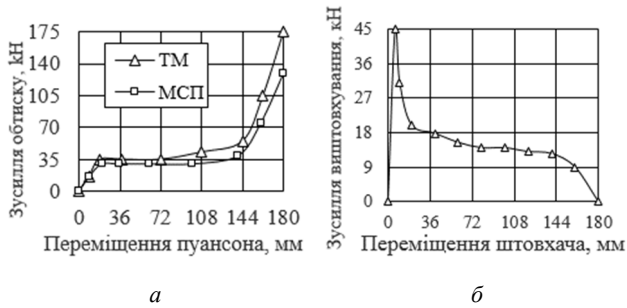


Рис. 15. Силові режими обтиску: а – залежність зусилля обтиску від переміщення пуансона, б – залежність зусилля виштовхування від переміщення штовхача

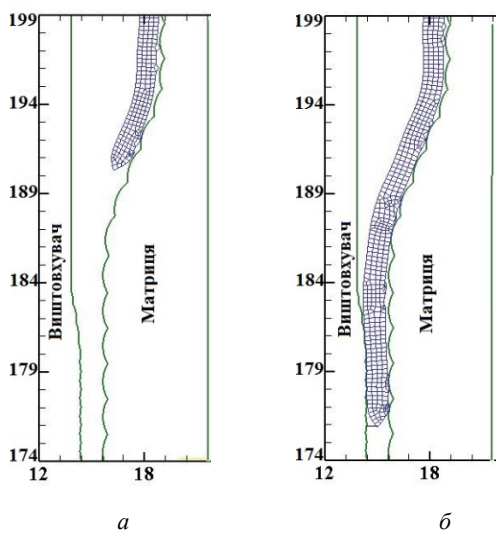


Рис. 16. Фрагменти zdeформованої заготовки та інструменту спеціального профілю: а – на конусі, б – в зазорі

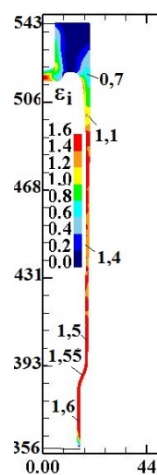


Рис. 17. Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i у zdeформованому металі заготовки гільзи

На основі результатів математичного моделювання була розроблена конструкція штампу для обтиску, яка представлена на рис. 18. Штмп містить матрицю, яка складається з верхньої частини 1 і нижньої частини 2. У частині 2 розміщені втулка 3 з виштовхувачем 4. За допомогою кільця 5 та гвинтів 17 втулка 3 притискається до опорної плити 6. Для направлення виштовхувача 4 у нижній плиті 7 передбачена втулка 8. На виштовхувач 4 надіта пружина 18 і прикріплена опора 9. Частини матриці 1 і 2 зафіксовані до нижньої плити 7 штампу кільцем 10, шістьма шпильками 19, шайбами 20 та гайками 21. У пуансонотримачі 11, що закріплений шістьма гвинтами 22 до верхньої плити 12 штампу, розміщені опорна плита 13, конусне кільце 14, пуансон 15 та притиснуті гайкою 16. Напівфабрикат, який отриманий на другому витягуванні, встановлюється у верхній частині матриці 1. При переміщенні вниз верхньої плити 12 штампу здійснюється обтиск. Заготовка гільзи видаляється з матриці виштовхувачем 4 з опорою 9, що приводяться в рух від виштовхувача пресу. Штмп може бути встановлений на гідравлічний прес зусиллям 1,6 МН (ДБ 2432).

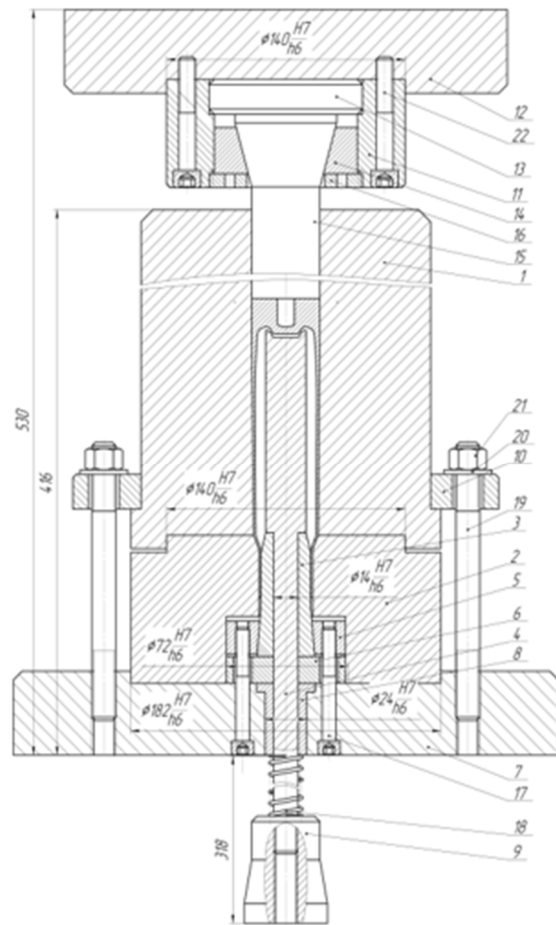


Рис. 18. Конструкція штампу для виконання обтиску

Таким чином, заготовка гільзи по запропонованій технології отримується за чотири переходи штампування: зворотне видавлювання з відпалом напівфабрикату, перше витягування з потоншенням з відпалом напівфабрикату, друге витягування з потоншенням із утворенням отвору та обтиск. Наведена технологія є більш продуктивною, в порівнянні з існуючою, завдяки зменшенню кількості переходів штампування і проміжних відпалів та забезпечує зниження витрат металу завдяки пластичному формоутворенню отвору у донній частині.

Висновки

1. Приведена інноваційна технологія штампування заготовки гільзи малих розмірів в такій послідо-

вності: холодне зворотне видавлювання полого напівфабрикату; дві операції холодного витягування з потоншенням; холодний обтиск.

2. На основі скінченно-елементного моделювання для кожного переходу штампування 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 забезпечило зменшення кількості переходів витягування та обтиску.

5. Розроблені конструкції штампового оснащення для кожного переходу штампування.

References

- [1] Kovka i shtampovka: Spravochnik 4 Vols. Moscow: Mashinostroenie. Vol. 2, Goryachaya ob'emnaya shtampovka, E.I. Semenova Ed. 1986.
- [2] O.V. Kalyuzhnyi, V.L. Kalyuzhnyi, *Intensifikatsiya formoutvoryuyuchih protsesiv holodnogo listovogo shtampuvannya*. Kyiv: TOV "Sik Grup UkraYina", 2015.
- [3] O.V. Kalyuzhnyi, S.S. Sokolovska, "Viznachennya parametriv vityaguvannya z potonshennyam zprofilovanim puansonom porozhnistih zagotovok pislya vidavlyuvannya", *Visnik NTU "HPI": Seriya "Innovatsiyni tehnologiyi ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgiyi"*, Harkiv: NTU "HPI", No. 36 (1257), pp. 21–28, 2017.
- [4] V. Kaliuzhnyi and O. Jarmolenko, "Intensification of the process of the cold envelope of humidified semi-fabricates for the receiving products with a changing window installation", *Mech. Adv. Technol.*, No. 1(85), pp. 111–117, 2019. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2019.85.164271>
- [5] V.N. Danchenko, A.A. Milenin, V.I. Kuzmenko, *Kompyuternoe modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem. Chislennyye metody*, Dnepropetrovsk: Sistemnyie tehnologii, 2008.
- [6] I.S. Aliev, O.E. Markov and Ya.G. Zhibankov, "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, V.L. Kalyuzhnyi, "Konechno-elementnoe modelirovanie mnogoperehodnogo formoizmeneniya pri proizvodstve zheleznodorozhnyih koles", *Vestnik NTUU "KPI"*. Mashinostroenie, Kiev: NTUU "KPI", No. 11, pp. 106–112, 2011.
- [8] I.S. Aliev, Ya.G. Zhibankov 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, Nos. 5–6, September, (Russian Original Nos. 5–6, May–June, 2017), pp. 359–365, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0501-1>
- [10] V.L. Kalyuzhnyi, 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. Kaliuzhnyi, O. Kaliuzhnyi, and K. Marchuk, "Calculation of the size of a hollow workpiece with a thin wall with interchangeable thickness and determination of the parameters of its crimping in a matrix with a cone-cylindrical deforming surface", *Mech. Adv. Technol.*, No. 3(90), pp. 106–112, 2020. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.0.219526>
- [12] A.V. Tretyakov, V.I. Zyuzin, *Mechanicheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke davleniem*. Spravochnik. 2th ed, Moscow: Metallurgiya, 1973.

Innovative technology for stamping a small-sized sleeve blank

V. Kaliuzhnyi, O. Yarmolenko, K. Marchuk

Abstract. The work is devoted to the development of an innovative technology of stamping from low-carbon steel for small-size liner blanks. The sequence of punching transitions includes a cold back extrusion operation, two cold drawing operations with thinning, and a cold crimping operation. Simulation with the use of the finite element method established the forces and specific forces during

operations, the thermal effect during shaping, the shape and size of semi-finished products with distributions of the intensity of deformations. An elastoplastic metal model was used, which made it possible to reveal the deformation forces, tool extraction from deformed semifinished products and the effort to remove semifinished products from the dies. A hollow semi-finished product is obtained by reverse extrusion. The possibility of carrying out the first drawing operation with thinning through two sequentially located dies with the formation of a hole in the bottom part is shown. After this operation, annealing of the semi-finished product is required to restore plasticity. In the second operation, thinning stretching. 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 sleeve 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. For each transition of stamping, a construction of stamping equipment has been developed. The proposed technology for stamping a sleeve blank can be implemented on a universal pressing equipment, has a high productivity due to a reduction in the number of transitions and minimizes mechanical processing

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

Инновационная технология штампования заготовки гильзы малых размеров

В. Калюжный, А. Ярошенко, К. Марчук

Аннотация. Работа посвящена разработке инновационной технологии штамповки из низкоуглеродистой стали заготовки гильзы малых размеров. Последовательность переходов штамповки включает операцию холодного 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 деформирования, усилия извлечения инструмента из сдеформированных полуфабрикатов и усилия удаления полуфабрикатов из матриц. Обратным выдавливанием получен полый полуфабрикат. Показана возможность осуществления первой операции вытяжки с утонением через две последовательно расположенные матрицы с формообразованием отверстия в донной части. После этой операции необходим отжиг полуфабриката для восстановления пластичности. 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. На каждый переход штамповки разработана конструкция штамповой оснастки. Предложенная технология штамповки заготовки гильзы может быть реализована на универсальном прессовом оборудовании, имеет высокую производительность за счет сокращения количества переходов 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, штамповая оснастка.