

Підвищення точності форми і розмірів порожнистих напівфабрикатів при гарячому зворотному видавлюванні із заготовок квадратного перерізу

В. В. Драгобецький¹ • О. В. Калюжний² • В. Л. Калюжний³ • С. В. Ситник³

Received: 01 June 2024 / Revised: 7 August 2024 / Accepted: 17 September 2024

Анотація. Отримання круглих порожнистих напівфабрикатів гарячим зворотним видавлюванням із заготовок круглого і квадратного перерізу є першим переходом штампування при виготовленні порожнистих виробів спеціального призначення. Для таких виробів потрібно забезпечити певні механічні властивості по висоті стінки і в донній частині, які можна досягти за рахунок пропрацювання структури металу пластичною деформацією. Пропрацювання донної частини здійснюється при зворотному видавлюванні. Властивості по висоті стінки отримують на подальших переходах витягування з потоншенням напівфабрикату після видавлювання. Використання заготовок квадратного перерізу приводить до більш інтенсивного пропрацювання донної частини напівфабрикатів при зворотному видавлюванні. Однак в результаті видавлювання виникають чотири виступи на торці стінки напівфабрикату в місцях, які відповідають кутовим зонам заготовки. Наявність виступів приводить до необхідності застосування додаткової операції підрізання торцю стінки напівфабрикату перед витягуванням, а також до збільшення витрат металу. Тому актуальною задачею є дослідження способу усунення виступів у напівфабрикаті та додаткової операції підрізання торцю.

Підвищення точності форми і розмірів порожнистих напівфабрикатів при гарячому зворотному видавлюванні із заготовок квадратного перерізу.

Усунення виступів досягається за рахунок утворення фасок в кутових зонах заготовки квадратного перерізу шляхом попереднього осаджування перед видавлюванням.

За допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) проведено моделювання процесів гарячого осаджування кутових зон на вихідній заготовці квадратного перерізу та подальшого зворотного видавлювання з роздачою круглих порожнистих напівфабрикатів. Визначено розміри фасок на заготовці із маловуглецевої сталі, які забезпечили усунення виступів на торці стінки круглого напівфабрикату після видавлювання. Встановлено залежності зусиль осаджування та видавлювання від переміщення пуансонів. Виявлено питомі зусилля на деформуючому інструменті. Наведено розподіли напружень, деформацій та температури у здеформованому металі в кінці осаджування та видавлювання. Проведено оцінку пропрацювання структури металу гарячою пластичною деформацією. Розроблено конструкцію штампів для виконання осаджування і видавлювання. Встановлено геометрію заготовки квадратного перерізу з фасками у кутових зонах, яка забезпечує усунення виступів на торці стінки при гарячому зворотному видавлюванні з роздачою круглих порожнистих напівфабрикатів.

Ключові слова: метод скінченних елементів, гаряче осаджування, зворотне видавлювання, заготовка квадратного перерізу, порожнистий напівфабрикат, температура, зусилля, напруження, деформації.

Вступ

Для виготовлення порожнистих виробів із різноманітних марок сталей і кольорових металів використовують процеси холодного або гарячого зворотного

видавлювання. Рекомендації по проектуванню технологій та штампного оснащення для гарячого видавлювання достатньо добре описано в джерелі [1]. При виробництві порожнистих виробів спеціального призначення великого калібру гаряче зворотне видавлювання порожнистих напівфабрикатів є першим переходом штампування, при якому відбувається пропрацювання структури металу пластичною деформацією донної частини напівфабрикатів для досягнення відповідних механічних властивостей у здеформованому металі. Пропрацювання структури металу стінки відбувається на

✉ С. В. Ситник
sytnykstas@ukr.net

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

наступних переходах штампування шляхом витягування з потоншенням та обтиску.

Традиційно для видавлювання порожнистих напівфабрикатів використовують заготовки круглого перерізу, які встановлюють з центруванням по матриці. При видавлюванні осередок деформації охоплює всю донну частину заготовок, але пропрацювання структури металу пластичною деформацією може бути недостатнє для досягнення заданих механічних властивостей у цьому місці. Для збільшення такого пропрацювання та зменшення витрат металу при розділенні прутків гарячекатаного прокату використовують заготовки квадратного перерізу.

Відомо, що при видавлюванні порожнистих напівфабрикатів із заготовок квадратного перерізу на торцях стінки утворюються виступи в чотирьох місцях, які відповідають кутовим зонам вихідної заготовки.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В монографії [1] викладено рекомендації із виробничого досвіду по проектуванню технології і штампового оснащення для гарячого зворотного видавлювання порожнистих виробів із заготовок круглого перерізу з різних марок сталей.

Використання методу скінчених елементів (МСЕ) для удосконалення існуючих і розробки нових технологій по гарячому пластичному формоутворенню різноманітних виробів із кольорових металів наведено в роботі [2].

В джерелі [3] шляхом моделювання МСЕ встановлені параметри гарячого штампування порожнистого виробу із високоміцного алюмінієвого сплаву В95 з інтенсивним пропрацюванням структури металу пластичною деформацією у донній частині і стінці виробу. Проведені експериментальні дослідження підтвердили результати розрахунків.

В роботі [4] авторами виконано чисельне моделювання отримання порожнистої деталі з матеріалу In718 за допомогою способу гарячого зворотного видавлювання. В різних частинах отриманої деталі досліджено структуру зерна. Встановлено, що більш дрібну та рівномірну структуру зерна вдалося отримати із заготовки, яка перед початком зворотного видавлювання була розігріта до температури 1000–1050 °С, а швидкість деформування складала 5 мм/с.

З використанням МСЕ та програми Forge, досліджено процес радіально-зворотного видавлювання роторною головкою та Також проведено натурний експеримент цього процесу в джерелі [5]. В результаті дослідження авторами встановлено, що при застосуванні вказаного способу виникають напруження зсуву у zdeформованому металі виробу, які впливають на активацію додаткових механізмів деформації та на механічні властивості у кінцевому виробі.

Авторами [6] розглянуто та досліджено нову схему процесу зворотного видавлювання порожнистого виробу з використанням втулки з отвором, в якому встановлено заготовку. Пуансон починає деформувати заготовку в отворі втулки, внаслідок чого метал тече між втулкою та матрицею доки виріб не набуде необхідної геометричної форми. Дослідження виконано за допомогою МСЕ та проведено натурні експерименти на заготовках з алюмінію. Застосування такої схеми зворотного видавлювання порожнистого виробу збільшує ступінь деформації покращує структуру металу за рахунок зменшення дефектів при формоутворенні.

Процес зворотного видавлювання обміднених алюмінієвих стержнів описано в джерелі [7]. Проведено чисельні розрахунки за допомогою МСЕ в програмному комплексі DEFORM та виконано натурні експерименти. Для врахування властивостей матеріалу в програмі DEFORM, було попередньо випробувано на гаряче стискання алюмінієвого сплаву EN AW-1080A і мідного сплаву CW004A. Отримано діаграми істинних напружень та заведено в програму. Результати чисельних розрахунків МСЕ порівняно з експериментом, за допомогою чого було остаточно встановлено необхідну технологію зворотного видавлювання.

З використанням МСЕ, виконано чисельні розрахунки процесу гарячого зворотного видавлювання порожнистого виробу із титанового сплаву марки Ti-6Al-4V [8]. Також проведено натурний експеримент такого процесу. Показано, що гаряче видавлювання титанового сплаву тісно пов'язано з фазовими перетвореннями та впливає на ріст зерен. Отримано достатньо хорошу збіжність результатів розрахунків з даними експерименту.

Досліджено процес зворотного видавлювання порожнистого виробу в роботі [9]. Авторами виконано чисельне моделювання з використанням МСЕ в програмному комплексі DEFORM та проведено натурні експерименти. Вихідним матеріалом для заготовки обрано алюмінієвий сплав. Деформування заготовки циліндричної форми в матриці відбувалось за допомогою пуансону, який обертався при поступальному русі. Завдяки такому обертанню автори стверджують, що заготовка розігрівається та в зоні деформування характер процесу змінюється з холодного на гаряче видавлювання. Вказано, що отриманий виріб має підвищену міцність та меншу пластичність в порівнянні зі традиційним способом видавлювання, коли пуансон рухається поступально без обертання.

Досліджено процес комбінованого видавлювання, який поєднує в собі пряме та зворотне видавлювання [10]. Виконано чисельні розрахунки з використанням МСЕ, а також проведено експериментальні дослідження. Під час розрахунків було досліджено вплив швидкості деформування (2 мм/с та 20 мм/с), початкової температури заготовки (180 °С та 200 °С) і коефіцієнту тертя. Отримано достатньо високу збіжність

між результатами чисельних розрахунків та даними експериментів.

В роботах [11], [12] показано, що використання заготовок квадратного перерізу при гарячому зворотному видавлюванні круглих порожнистих напівфабрикатів приводить до збільшення пропрацювання структури металу пластичною деформацією донних частин і стінок напівфабрикатів в порівнянні з заготовками круглого перерізу. Наявність виступів на торці стінки при формоутворенні напівфабрикатів із заготовок квадратного перерізу потребує застосування додаткової операції підрізання торця та приводить до збільшення витрат металу. Без такої операції неможливе виконання наступних переходів витягування з потоншенням такого напівфабрикату. Тому актуальними є дослідження, які спрямовані на усунення формоутворення виступів при гарячому зворотному видавлюванні порожнистих напівфабрикатів. Очевидно такого результату можна досягти шляхом осаджування фасок в кутових зонах заготовки квадратного перерізу перед зворотним видавлюванням.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення точності форми і розмірів порожнистих напівфабрикатів при гарячому зворотному видавлюванні із заготовок квадратного перерізу, на яких у кутових зонах шляхом осаджування отримано фаски перед видавлюванням. Задачами дослідження є встановлення розмірів фасок для забезпечення усунення виступів при видавлюванні, виявлення зусиль осаджування і видавлювання та питомих зусиль на деформуючому інструменті; визначення кінцевих форм і розмірів напівфабрикатів; встановлення напружено-деформованого стану і пропрацювання структури металу пластичною деформацією; розроблення конструкції штампу для виконання осаджування і видавлювання.

Матеріали та методи дослідження

Для проведення дослідження було використано два переходи гарячого штампування порожнистого напівфабрикату із маловуглецевої сталі AISI 1015. На першому переході здійснюється формоутворення фасок в кутових зонах заготовки квадратного перерізу шляхом осаджування. На рис. 1 показано схему осаджування фасок. Тут і надалі ліворуч від вісі симетрії наведено положення інструменту та заготовки на початку осаджування, а праворуч – в кінці осаджування. Розігріту до 1000 °C заготовку 1 квадратного перерізу з розмірами 116,7×116,7 мм (в холодному стані 115×115 мм) і висотою 42,5 мм та по діагоналях $A = 165$ мм та встановлено на плиті 2 з центрування по матриці 3 діаметром $D_0 = 165,5$ мм. При опусканні пуансону 4 з діаметром $D_1 = 172$ мм на висоту h зі швидкістю V_0 і дії

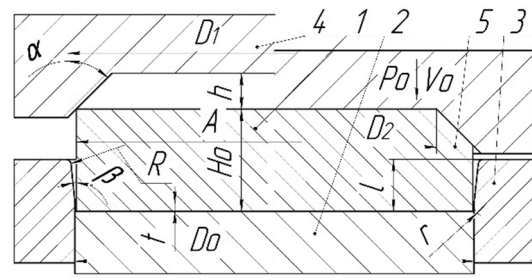


Рис. 1. Схема гарячого осаджування фасок в кутових зонах заготовки квадратного перерізу: 1 – заготовка, 2 – плита, 3 – матриця, 4 – пуансон, 5 – zdeформована заготовка

зусилля P_0 відбувається формоутворення фасок діаметром D_2 під кутом α в кутових зонах заготовки 1. Розміри α і D_2 змінювали для досягнення усунення виступів на торці стінки напівфабрикату при подальшому зворотному видавлюванні з роздачою.

Схему видавлювання круглого порожнистого напівфабрикату з розмірами деформуючого інструменту зображено на рис. 2. Заготовку 1 після осаджування розміщено з центруванням в круглій матриці 2 на плиті 3, яка виконує роль виштовхувача. Процес деформування зусиллям P виконується при опусканні пуансону 4 зі швидкістю V , яка повинна забезпечити температурний інтервал гарячого видавлювання заготовки одразу після виконання осаджування. В результаті видавлювання утворюється напівфабрикат 5, який має виступи на донній частині зі сторони порожнини і зовнішньої поверхні. Товщина донної частини $h_1 = 11,5$ мм. Сутність роздачі при видавлюванні полягає в тому, що зовнішні розміри отриманого напівфабрикату більші за такі розміри заготовки після осаджування.

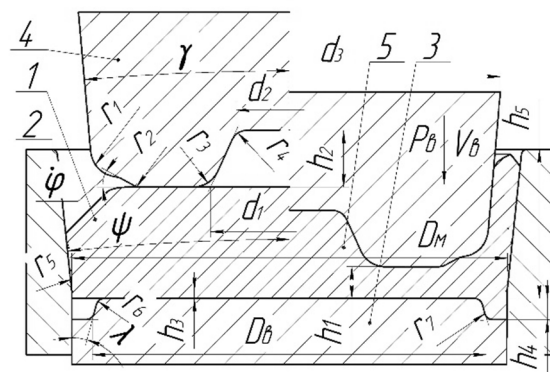


Рис. 2. Схема гарячого зворотного видавлювання з роздачою: 1 – заготовка, 2 – матриця, 3 – плита, 4 – пуансон, 5 – напівфабрикат

Розміри деформуючого інструменту: матриці – $D_M = 165,7$ мм, $\psi = 6^\circ$, $r_5 = 5$ мм, $h_5 = 57$ мм, $h_3 = 3$ мм; плити – $D_6 = 150$ мм, $r_6 = r_7 = 3$ мм, $h_4 = 8$ мм; пуансону – $h_2 = 21,5$ мм, $d_2 = 40$ мм, $d_2 = 60$ мм, $r_4 = 6$ мм, $r_3 = 10$ мм, $r_2 = 10$ мм, $r_1 = 10,5$ мм, $\phi = 28^\circ$, $d_3 = 160$ мм, $\gamma = 5^\circ$.

Розрахунковий аналіз процесів осаджування і видавлювання проведено методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням програми DEFORM3D. Тертя на контактуючих поверхнях абсолютно жорсткого деформуючого інструменту враховано по Зібелю з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,3$. Розрахунок видавлювання виконано одразу після осаджування з урахуванням охолодження здеформованої заготовки і деформацій, які отримано при осаджуванні. Деформуючий інструмент при осаджуванні мав температуру $20\text{ }^\circ\text{C}$, а при видавлюванні – температуру $400\text{ }^\circ\text{C}$. Для скорочення часу моделювання було розглянуто деформування четвертих частин заготовок при осаджуванні і видавлюванні.

Результати дослідження

Спочатку наведено результати моделювання процесу осаджування для отримання фасок в кутових зонах заготовки. Розрахунком встановлено раціональну форму здеформованої заготовки, яка забезпечує усунення формоутворення виступів на торці стінки при подальшому видавлюванні порожнистого напівфабрикату круглої форми. Така форма заготовки утворена при переміщенні зі швидкістю $V_0 = 40\text{ мм/сек}$ пуансону 4 з кутом $\alpha = 45^\circ$ і діаметром $D_2 = 135\text{ мм}$ на величину $h = 15\text{ мм}$ (див. рис. 1).

Залежність зусилля осаджування від переміщення пуансону представлено на рис. 3. Зусилля постійно зростає і досягає максимального значення $P_0 = 300\text{ кН}$ при переміщенні пуансону $h = 5\text{ мм}$. Невелике значення зусилля осаджування дозволяє здійснити суміщення осаджування з видавлюванням в одному штампі.

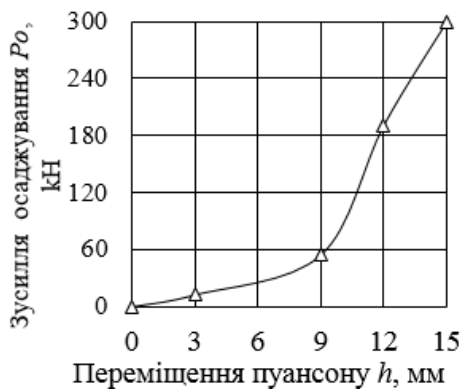


Рис. 3. Залежність зусилля осаджування P_0 від переміщення пуансону h

На рис. 4 представлено здеформовану заготовку з фасками в кутових зонах і розподілом температури по об'єму. В місцях утворення фасок спостерігається охолодження металу з $T = 1000\text{ }^\circ\text{C}$ до температури $T = 820\text{ }^\circ\text{C}$.

Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i в перерізі по діагоналі здеформованої заготовки показано на рис. 5. В кутових зонах відбувається певне пропрацювання

структури металу гарячою пластичною деформацією на глибину до 10 мм, яке було враховано при видавлюванні. У зовнішніх шарах металу фаски отримано інтенсивність деформацій у межах $\epsilon_i = 1,3 \dots 1,5$ з подальшим зменшенням до $\epsilon_i = 0,19 \dots 0,38$ при наблизненні до наблизненні до границі осередку деформації.

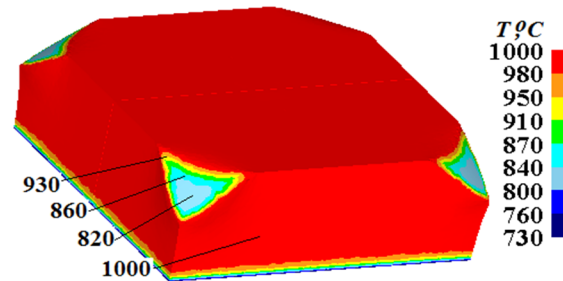


Рис. 4. Здеформована заготовка з фасками в кутових зонах і розподілом температури ($T\text{ }^\circ\text{C}$) по об'єму

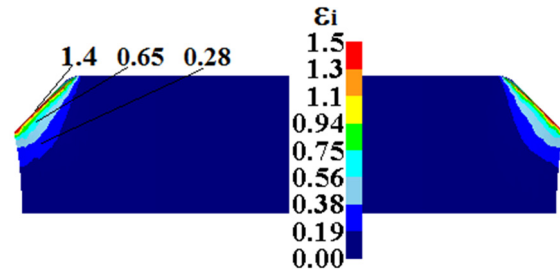


Рис. 5. Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i у здеформованій заготовці після осаджування

Далі приведено результати моделювання видавлювання з роздачою круглого порожнистого напівфабрикату. Розрахункові положення в розрізі по площині zox деформуючого інструменту і четвертої частини заготовки на початку та в кінці видавлювання зображено на рис. 6. На початку видавлювання заготовку 1 після осаджування розміщено на плиті 2 з центруванням по діагоналях в матриці 3 круглої форми (рис. 6 а). При переміщенні пуансону 4 зі швидкістю $V_0 = 40\text{ мм/сек}$ здійснюється формоутворення порожнистого напівфабрикату 5 (рис. 6 б).

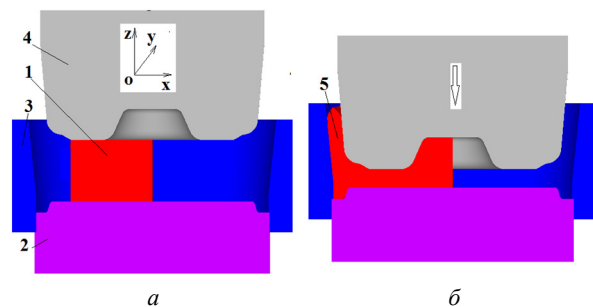


Рис. 6. Розрахункові схеми на початку і в кінці видавлювання: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання

На рис. 7 представлено в форми торців стінок напівфабрикатів після видавлювання заготовок квадратного перерізу. Після видавлювання заготовки без фасок на торці стінки отримано чотири виступи у кутових зонах стінки (рис. 7 а) [11], [12]. Наявність виступів унеможливило виконання наступних переходів витягування з потоншенням, тому потрібна операція підрізання торця. При видавлюванні заготовки з фасками такі виступи відсутні (рис. 7 б).

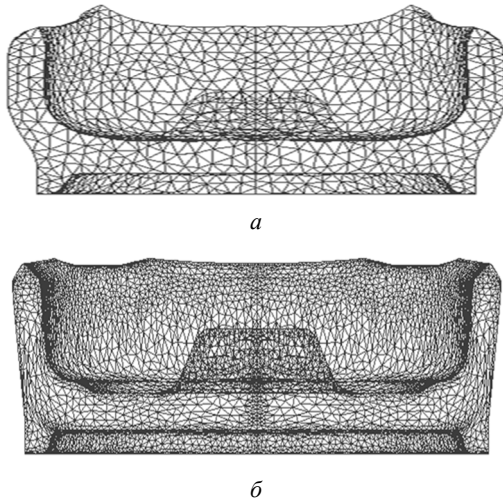


Рис. 7. Форма торця стінки половини напівфабрикатів після видавлювання заготовок квадратного перерізу: а – заготовки без фасок, б – заготовки з фасками

На рис. 8 зображено залежність зусиль в напрямку вісі z на пуансоні, плиті і матриці при видавлюванні напівфабрикатів, які виникають в напрямку вісі z (див. рис. 6 а) на пуансоні, плиті і матриці від переміщення пуансону. Максимальні значення зусиль на пуансоні (12,92 МН) і плиті (12,8 МН) отримано в кінці видавлювання. На матриці найбільша величина зусилля (0,15 МН) виникає на проміжній стадії видавлювання при переміщенні пуансону 21 мм. Вказані зусилля потрібно враховувати при виборі пресового обладнання і проектуванні плит штампу.

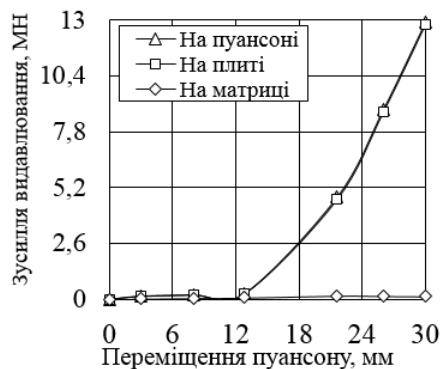


Рис. 8. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону при видавлюванні

Виявлено розподіл температури у zdeформованому металі по об'єму половини напівфабрикату в кінці видавлювання, який зображено на рис. 9. Швидкість деформування $V = 40$ мм/сек забезпечує витримку температурного інтервалу гарячого видавлювання. У стінці і донній частині отримано $T = 1000$ °С Також встановлено охолодження шарів металу до $T = 830$ °С поблизу контактуючих поверхонь з пуансоном, плитою і матрицею. Такий розподіл дозволяє виконати наступний перехід витягування з потоншенням цього напівфабрикату в режимах гарячої і напівгарячої деформації.

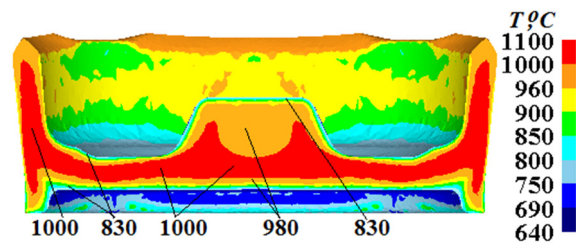


Рис. 9. Розподіл температури (T °С) по об'єму половини напівфабрикату в кінці видавлювання

Моделюванням МСЕ встановлено напружений і деформований стани металу у напівфабрикаті в кінці видавлювання.

Розподіли компонент напружень по об'єму половини напівфабрикату приведено на рис. 10. Великий інтерес представляє розподіл напруження σ_z , по якому можна оцінити питомі зусилля на контактуючих поверхнях з пуансоном і плитою (рис. 10 а). В донній частині напівфабрикату виникають стискаючі напруження σ_z у межах $\sigma_z = -170 \dots -1300$ МПа. У стінці мають місце невеликі стискаючі напруження σ_z . Найбільші питомі зусилля величиною $1020 \dots 1200$ МПа діють на поверхнях з плитою і торцем пуансону в місці контакту з виступом донної частини.

Також у донній частині напівфабрикату отримано стискаючі напруження σ_x (рис. 10 б) і σ_y (рис. 10 в). Вигляди розподілів і величини напружень приблизно однакові. Ці напруження знаходяться у межах $-460 \dots -1030$ МПа. На поверхні заготовки з матрицею по напруженню σ_x можна встановити питомі зусилля, які в даному випадку досягають 380 МПа.

У донній частині напівфабрикату є невеликі зони з інтенсивністю напружень $\sigma_i = 235$ МПа (рис. 10 в). В місці переходу стінки у донну частину отримано $\sigma_i = 175$ МПа, а більша частина об'єму має $\sigma_i = 145$ МПа.

Розподіли компонент деформацій у напівфабрикаті представлено на рис. 11. У стінці напівфабрикату виникають розтягуювальні деформації величиною $\varepsilon_z = 0,45$, а в зовнішніх шарах металу області переходу стінки у донну частину ці деформації досягають значення $\varepsilon_z = 1,3$. У донній частині деформації стають стискаючими та знаходяться у межах $\varepsilon_z = -0,45 \dots -1,7$.

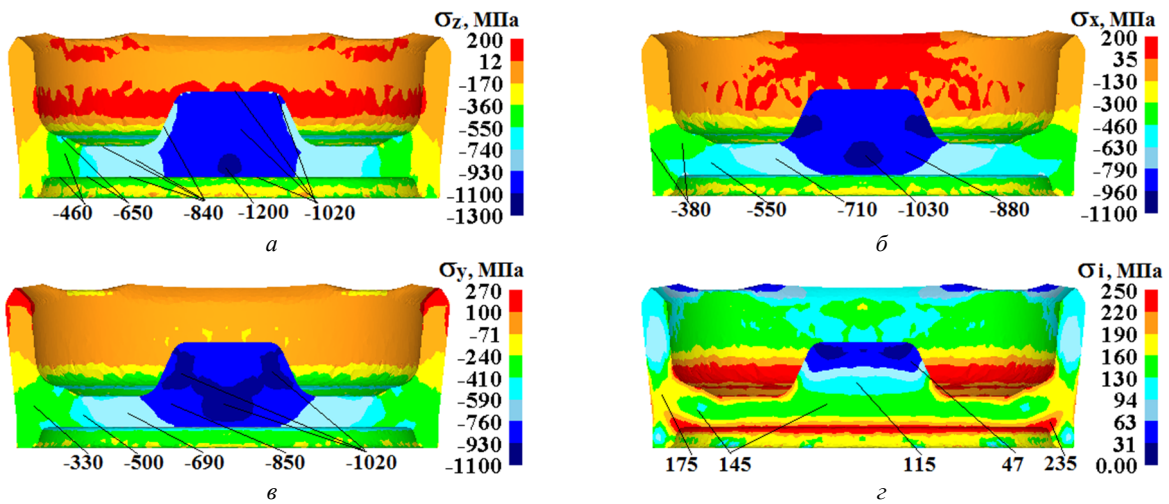


Рис. 10. Розподіл компонент напружень по об'єму половини напівфабрикату: *a* – розподіл σ_z , *b* – розподіл σ_x , *c* – розподіл σ_y , *d* – розподіл σ_i

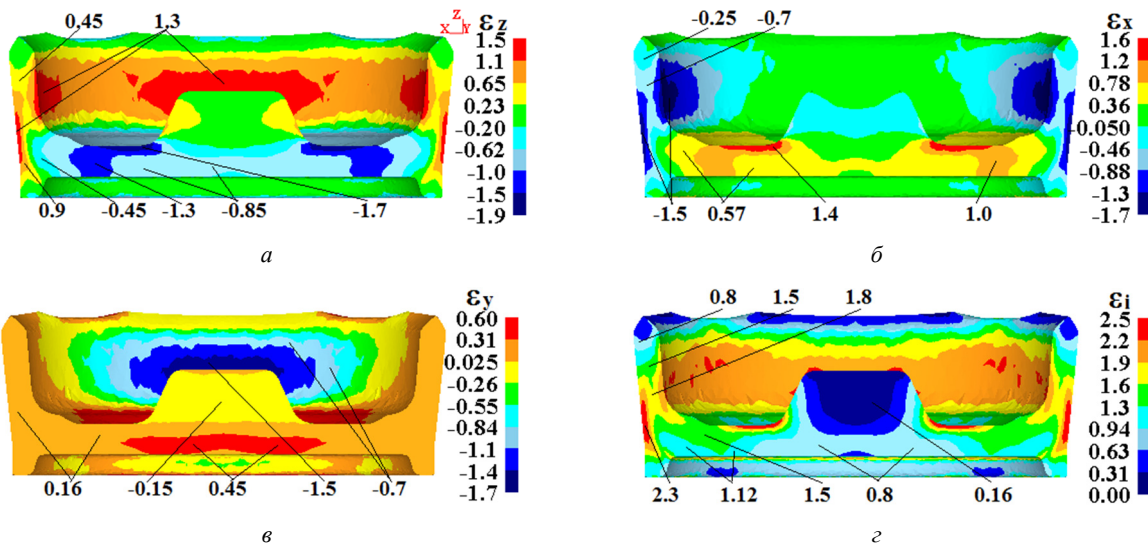


Рис. 11. Розподіл компонент деформацій по об'єму половини напівфабрикату: *a* – розподіл ϵ_z , *b* – розподіл ϵ_x , *c* – розподіл ϵ_y , *d* – розподіл ϵ_i

Деформації ϵ_x у стінці отримано стискаючими у межах $\epsilon_x = -0,25 \dots -0,7$. В зовнішніх шарах металу місця переходу в донну частину $\epsilon_x = -1,5$, а в самій донній частині ці деформації стають розтягуючими у межах $\epsilon_x = 0,57 \dots 1,4$ (рис. 11 б).

У стінці та в об'ємі донної частини напівфабрикату виникають розтягуювальні деформації ϵ_y (рис. 11 в). Найбільші значення $\epsilon_y = 0,31 \dots 0,6$ отримано в зоні вісі симетрії напівфабрикату.

Результуюче пропрацювання структури металу гарячою пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму напівфабрикату (рис. 11 г).

Інтенсивне пропрацювання відбувається у донній частині з досягненням $\epsilon_i = 0,8 \dots 1,5$.

У зовнішніх шарах металу місця переходу стінки у донну частину отримано $\epsilon_i = 2,3$. У самій стінці величина інтенсивності деформацій зменшується від $\epsilon_i = 1,8$ до $\epsilon_i = 0,8$ при наближенні до торця стінки.

Таким чином, наведені величини ϵ_i у донній частині напівфабрикату можуть бути достатніми для отримання потрібних механічних властивостей. Такі властивості у стінці забезпечуються на переходах витягування з потоншенням.

На основі результатів моделювання розроблено і спроектовано двох позиційне штампове оснащення для одночасного виконання гарячого осаджування фасок в кутових зонах на заготовці і видавлювання порожнистого напівфабрикату. Загальний вигляд штампу представлено на рис. 12.

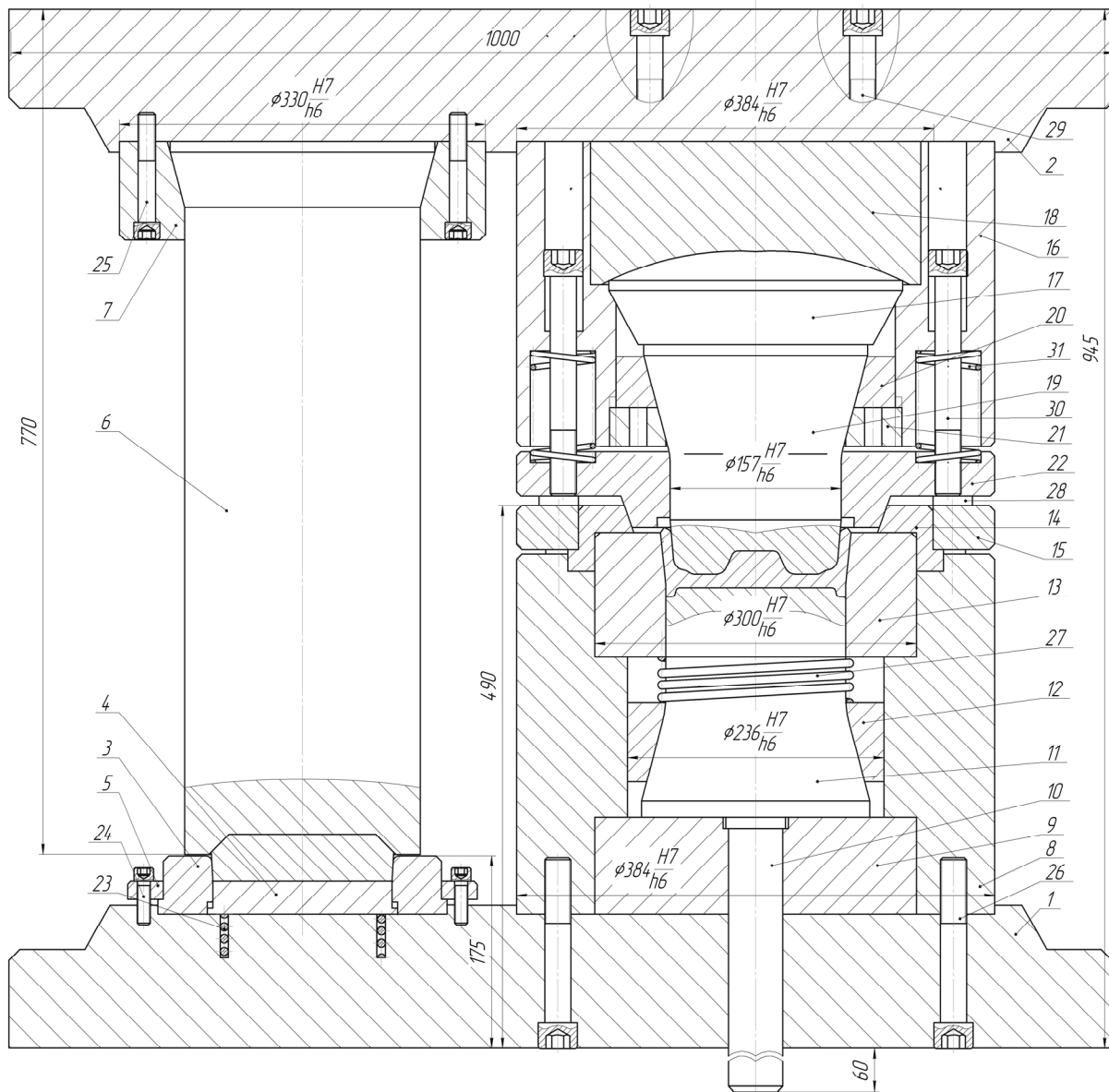


Рис. 12. Конструкція штампу для одночасного виконання гарячого осаджування і видавлювання

Штамп складається із нижньої плити 1 і верхньої плити 2. Ліворуч на плитах розміщено деформуючий інструмент для осаджування, тому що поблизу пресу зі штампом розташовано індукційний пристрій для нагрівання вихідних заготовок. На плиті 1 встановлено матрицю 3 круглої форми з опорною плитою 4, яка спирається на пружину 23. Матрицю 3 зафіксовано кільцем 5 і гвинтами 24. Пружина 23 стискається при виконанні осаджування і виштовхує zdeформовану заготовку після осаджування. Пуансон для осаджування 6 прикріплено до верхньої плити 2 за допомогою пуансонотримача 7 та гвинтів 25.

Деформуючий інструмент для видавлювання в штампі встановлено праворуч, що дозволяє швидко перенести zdeформовану заготовку з позиції осаджування на позицію видавлювання, а позицію осаджування

заповнити новою заготовкою. На плиті 1 розміщено матрицетримач 8, в якому є опорна плита 9 і штовхач 10. Матрицетримач 8 до плити 1 зафіксовано гвинтами 26 і містить виштовхувач 11 з конусним кільцем 12 і пружиною 27. Пружину 27 попередньо стиснуто матрицею 13, обіймою 14 і кільцем 15 за допомогою гвинтів 28, які вкручено в матрицетримач 8.

До верхньої плити 2 штампу прикріплено пуансонотримач 16 за допомогою гвинтів 29. У пуансонотримачі 16 розміщено п'яту 17 і підп'ятник 18, на які спирається пуансон 19 та фіксується конусним кільцем 20 і гайкою 21. Також у пуансонотримачі 16 встановлено з посадкою по пуансону 19 знімач 22, який утримується чотирма рухомими гвинтами 30 і спирається на чотири пружини 31. Знімач 22, крім знімання напівфабрикату з пуансону 19, призначений для направлення

пуансону 19 відносно матриці 13 при видавлюванні.

Нижня плита 1 має чотири пази для кріплення на столі гідравлічного пресу, а верхня плита 2 має такі пази для кріплення на повзуні пресу.

У вихідному положенні віддаль між торцем пуансону 19 і обоймою 14 повинна бути дещо більшою за висоту напівфабрикату. В матрицю 13 встановлюють заготовку після осаджування. При опусканні повзуна пресу з верхньою плитою 2 перед початком видавлювання знімач 22 попадає на конусну поверхню обойми 14 і пуансон 19 направляється відносно матриці 13. Після видавлювання повзун пресу з верхньою плитою піднімається в вихідне положення. Якщо напівфабрикат залишиться на пуансоні 19, то знімання його відбувається за рахунок дії стиснутих пружин 31 і знімача 22. Коли напівфабрикат залишається в матриці 13, то видалення його здійснюється виштовхувачем 11 і штовхачем 10, які приводяться в рух від виштовхувача пресу. При цьому стискається пружина 31 і повертає виштовхувач 11 зі штовхачем 10 в вихідне положення при опусканні виштовхувача пресу.

Таким чином, в штампі одночасно відбувається осаджування фасок на заготовці та видавлювання порожнистого напівфабрикату для подальшого виконання переходів витягування з потоншенням.

References

- [1] E. I. Semenov Ed., *Forging and stamping. Handbook*. In 4 Vol., vol. 2, Hot stamping. Moscow: Mechanical Engineering, 1986.
- [2] V. N. Danchenko, A. A. Milenin and V. I. Kuzmenko, Computer modeling of metal pressure processing processes. Numerical methods. Dnipropetrovsk: System Technologies, 2008.
- [3] V. L. Kalyuzhnyi, L. I. Aliyeva, I. S. Aliev and V. N. Gornostay, "Hot volumetric stamping of hollow products from high-strength aluminum alloy with specified mechanical properties," *Procurement production*, Vol. 12, pp. 18–25, 2018.
- [4] X Hu, R B Mei, F Zhu, Y Fan, Y B Liang, X B Wang, D G Wang and Z R Jing, "Numerical Simulation for Microstructure Evolution in In718 Alloy During Cylindrical Cup Backward Extrusion," Northeastern University at Qinhuangdao Branch, Northeastern University, Qinhuangdao 066004, China, Vol. 650, pp. 92–97, 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.650.92.
- [5] S. Zota, S. Mróz, A. Stefanik, K. Laber and R. Mola, Theoretical and experimental analysis of the backward extrusion process with a rotational die of AZ31 alloy / *Metabk 60* (2021) 1–2, pp. 36–38.
- [6] S. H. Hosseini, K. Abrinia and G. Faraji, "Applicability of a modified backward extrusion process on commercially pure aluminium," *Materials and Design*, Vol. 65, pp. 521–528, 2015. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.09.043.
- [7] S. Kuhnke, V. Sanabria, F. Gensch, R. Nitschke and S. Mueller, "Numerical Investigations on Material Flow During Indirect Extrusion of Copper-Clad Aluminum Rods," *Front. Mater.*, Vol. 7, Article 157, pp. 1–10, June 2020, doi: 10.3389/fmats.2020.00157
- [8] Jong-Taek Yeom, Jeoung Han Kim, Jae-Keun Hong, Nho-Kwang Park and Chong Soo Lee, "Prediction of Microstructure Evolution in Hot Backward Extrusion of Ti-6Al-4V Alloy / Hindawi Publishing Corporation," *Journal of Metallurgy*, Vol. 2012, Article ID 989834, pp. 1–6, doi:10.1155/2012/989834
- [9] R. Broomand, A. Babaei, H. M. Bashiri and M. H. Zaheri, "Processing MMC tubes via friction stir backward extrusion," *Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering*, Vol. 19, Issue 1 – Serial, No. 57, pp. 225–242, July 2022. DOI:10.48301/KSSA.2021.287462.1550.
- [10] Duk Jae Yoon, Eung-Zu Kim, Kyoung Hoan Na, Yong-Shin Lee, A study on the forming characteristics of AZ 31B Mg Alloy in a combined Forward-backward extrusion at warm temperatures / *MDPI*, Received: 15 October 2018; Accepted: 2 November 2018; Published: 8 November 2018. pp. 1–10. DOI:10.3390/app8112187.
- [11] V. Kaliuzhnyi, S. Sytnyk and V. Levchenko, "Comparative analysis of hot reverse extrusion of hollow products from round and square blanks," *Mech. Adv. Technol.*, Vol. 7, No. 2, pp. 236–242, 2023, doi: 10.20535/2521-1943.2023.7.2.288484.
- [12] O. Kaliuzhnyi, V. Kaliuzhnyi, S. Sytnyk, K. Shulga and M. "Gotra Increase in work by plastic deformation of the walls and the bottom part of the hollow semi-finished product during hot reverse extrusion," *Scientific notes. Interuniversity collection*, Vol. 76, pp. 72–80, 2023, doi: 10.36910/775.24153966.

Висновки

1. В роботі шляхом моделювання МСЕ проведено дослідження гарячого зворотного видавлювання круглих порожнистих напівфабрикатів із заготовок квадратного перерізу з фасками в кутових зонах.

2. Виявлено розміри фасок на здеформованій заготовці при осаджуванні, які забезпечили формоутворення порожнистих напівфабрикатів без виступів на торці стінки.

3. Встановлено залежності зусиль осаджування і подальшого видавлювання від переміщення деформуючого інструменту та питомі зусилля при видавлюванні. Визначено форму і розміри порожнистого напівфабрикату та розподіли напружень і деформацій по об'єму.

4. Розроблено конструкцію штампу для одночасного формоутворення осаджуванням фасок на заготовці і видавлювання круглого порожнистого напівфабрикату.

5. Подальші дослідження в цьому напрямку необхідно провести по оцінці впливу коефіцієнту тертя на силові режими і формозміну металу при видавлюванні.

Improving the shape and dimensional accuracy of hollow semi-finished products during hot reverse extrusion from square workpieces

V. V. Dragobetskyi¹ • O. V. Kaliuzhnyi² • V. L. Kaliuzhnyi³ • S. V. Sytnyk³

¹ Mykhailo Ostrohradskyi National Technical University, Kremenchuk, Ukraine

² IT education academy, Kyiv, Ukraine

³ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. Stamping of round hollow semi-finished products by hot reverse extrusion from round and square workpieces is the first stamping step in the manufacture of hollow products for special purposes. These products require certain mechanical properties along the wall height and in the bottom part, which can be achieved by working out the metal structure by plastic deformation. The bottom part is worked out by reverse extrusion. The wall properties are obtained in the following stages of drawing the semi-finished product with thinning after extrusion. The use of square workpieces results in more intensive working out of the bottom of the semi-finished products during the reverse extrusion. However, as a result of extrusion, four protrusions appear at the end of the semi-finished product wall in places that match the corner areas of the workpiece. The presence of protrusions leads to the need for an additional operation of cutting the end of the semi-finished product before extrusion, as well as to an increase in metal usage. Therefore, an urgent task is to study the method of eliminating protrusions in the semi-finished product and the additional cutting operation.

To improve the accuracy of the shape and size of hollow semi-finished products during hot reverse extrusion from square workpieces.

Elimination of protrusions is achieved by forming chamfers in the corner zones of the square workpiece by preliminary deposition before extrusion.

The finite element method (FEM) was used to model the processes of hot deposition of corner zones on a square workpiece and subsequent reverse extrusion with the dispensing of round hollow semi-finished products. The dimensions of the chamfers on the high-carbon steel workpiece were determined, which ensured the elimination of protrusions at the end of the wall of the round semi-finished product after extrusion. The dependence of the deposition and extrusion forces on the punch movement was determined. The specific forces on the deforming tool were determined. The distributions of stresses, strains, and temperature in the deformed metal at the end of deposition and extrusion are presented. The working out of the metal structure by hot plastic deformation is evaluated. The design of a stamp for deposition and extrusion is developed.

The geometry of a square workpiece with chamfers in the corner zones was determined, which ensures the elimination of protrusions at the wall end during hot reverse extrusion with the dispensing of round hollow semi-finished products.

Keywords: finite element method, hot deposition, reverse extrusion, square workpiece, hollow semi-finished product, temperature, forces, stresses, deformations.