

Калюжний В. Л.
Ситник С. В.
Савченко Д. В.
Чучин О. В.

НАПІВГАРЯЧЕ ТА ГАРЯЧЕ ЗВОРОТНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ З РОЗДАЧОЮ ОСЕСИМЕТРИЧНОЇ ПОРОЖНИСТОЇ ДЕТАЛІ

За допомогою методу скінченних елементів змодельовано процес напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою порожнистого напівфабрикату із маловуглецевої сталі з виступами на донній частині. Метою роботи було отримати за допомогою методу скінченних елементів впливу температури початкової заготовки на параметри напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою вісесиметричного порожнистої деталі. Визначено початкові розміри заготовки для отримання напівфабрикату з необхідними формою та розмірами. Температура заготовки для напівгарячого видавлювання складала 700°C, для гарячого 1000°C. Поетапно описано процес зворотного видавлювання з роздачою порожнистого стакану. Проаналізовано процес зворотного видавлювання з роздачою та процес виштовхування готового виробу з матриці. Визначено залежність зусилля процесу зворотного видавлювання з роздачою від переміщення пуансону та залежність зусилля виштовхування сформованого порожнистого стакану з матриці від переміщення виштовхувача для напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою. Визначено розподіл питомих зусиль на торцях пуансону, виштовхувача та по висоті робочої поверхні матриці за допомогою величин нормальних напружень. Встановлено кінцеву форму та розміри порожнистої деталі. Пропрацювання структури металу в стінці та у донній частині виробу пластичною деформацією проаналізовано за допомогою величини інтенсивності деформацій. Поблизу контактуючих поверхонь між заготовкою та робочим інструментом показано температуру охолодження. Відображено розподіл температур, напруження та деформації для кінцевої стадії формоутворення.

Ключові слова: метод скінченних елементів, гаряче і напівгаряче зворотне видавлювання, роздача, порожниста деталь, зусилля, температура, напруження, деформація, інтенсивність деформацій.

Для отримання порожнистих вісесиметричних виробів різних форм та розмірів із маловуглецевої сталі використовують способи гарячого зворотного видавлювання з роздачою. Такі способи описані в [1], де наведено рекомендації по проектуванню технологій та штампового оснащення, але недостатньо даних по проектуванню технології гарячого зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів із вуглецевої сталі, зокрема з матеріалу марки Сталь 25.

З використанням методу скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів процесу гарячого штампування, можливо суттєво зменшити собівартість та час на підготовку виробництва різних виробів [2, 3]. Для встановлення параметрів гарячого штампування виробів з потрібним пропрацюванням структури металу пластичною деформацією в необхідних частинах або по всьому об'єму виробів досить ефективним є МСЕ. В джерелах [4–8], наведено приклади пропрацювання структури металу на конкретних деталях в які входять порожнисті вироби. З допомогою такого пропрацювання можливо досить точно отримати необхідні механічні характеристики в здеформованому металі. Для покращення пропрацювання структури металу можна застосувати одразу два способи формоутворення це зворотне видавлювання та роздача.

Метою роботи є отримання за допомогою МСЕ впливу температури початкової заготовки на параметри напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою осесиметричного порожнистого виробу із маловуглецевої сталі.

Розрахунки були проведені за допомогою моделювання з використанням скінченно-елементної програми DEFORM та циліндричної системи координат. Діаметр вихідної заготовки $D_0 = 120$ мм, а висота $H_0 = 27,2$ мм. Швидкість деформування (переміщення пуансону) складала $V_0 = 50$ мм/сек. Температура вихідної заготовки із матеріалу марки Сталь 25 становила 700 °C та 1000 °C. Для Сталі 25 рекомендований температурний інтервал гарячого штампування знаходиться в межах 1250–800°C. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким та

мав температуру 20°C. Тертя на контактуючих поверхнях було враховано по Зібелю з величиною коефіцієнта тертя $\mu = 0,25$.

На рис. 1 відображено положення деформуючого інструменту в розрізі на різних етапах видавлювання з роздачою. Положення деформуючого інструменту на першому етапі видавлювання відображено на рис. 1а. Вихідна заготовка 1 розташована в матриці 2 по циліндричній частині. Виштовхувач 3 має спеціальну геометрію, що необхідна для отримання виступу в донній частині виробу. видавлювання здійснюється за допомогою пуансона 4. На рис. 1, б, відображено другий етап формування – пуансон опустився повністю на задану величину, остаточно сформована геометрія виробу. На рис. 1 в, відображено третій етап – пуансон вилучено із остаточно zdeформованого виробу. На рис. 1 г, відображено четвертий етап – виріб 5 за допомогою виштовхувача 3 вилучено з матриці 2.

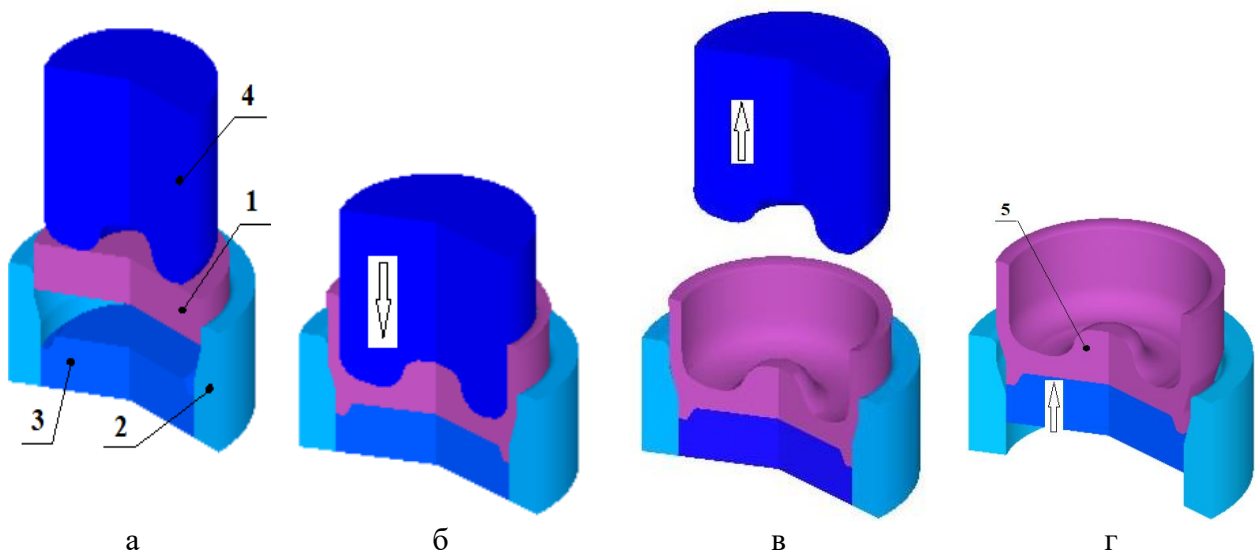


Рис. 1. Положення деформуючого інструменту на різних етапах видавлювання:

а – положення на початку видавлювання; б – положення в кінці видавлювання; в – положення після виймання пуансона із напівфабрикату; г – положення після виштовхування напівфабрикату із матриці

На рис. 2 приведено графіки силових режимів видавлювання. Залежності зусиль напівгарячого і гарячого видавлювання від переміщення пуансонів зображено відповідно на рис. 2, а і рис. 2, б. Максимальна величина зусилля напівгарячого видавлювання складає $P_d = 7370$ кН, а гарячого – $P_d = 3670$ кН. На рис. 2, в наведено залежність зусилля виштовхування P_e напівфабрикату із матриці від переміщення виштовхувача після напівгарячого видавлювання, а на рис. 2, г – після гарячого видавлювання. Зусилля виштовхування досягає максимальних значень на початку процесу виштовхування для напівгарячого видавлювання $P_e = 180$ кН, для гарячого видавлювання $P_e = 38$ кН. Проаналізувавши силові режими процесу видавлювання, сформовано вимоги до обладнання, а саме використовувати гідравлічний прес зусиллям 10 МН, необхідна мінімальна величина робочого ходу повзуна 100 мм, а також необхідне мінімальне зусилля виштовхування $P_e = 200$ кН та мінімальна величина ходу виштовхування 20 мм.

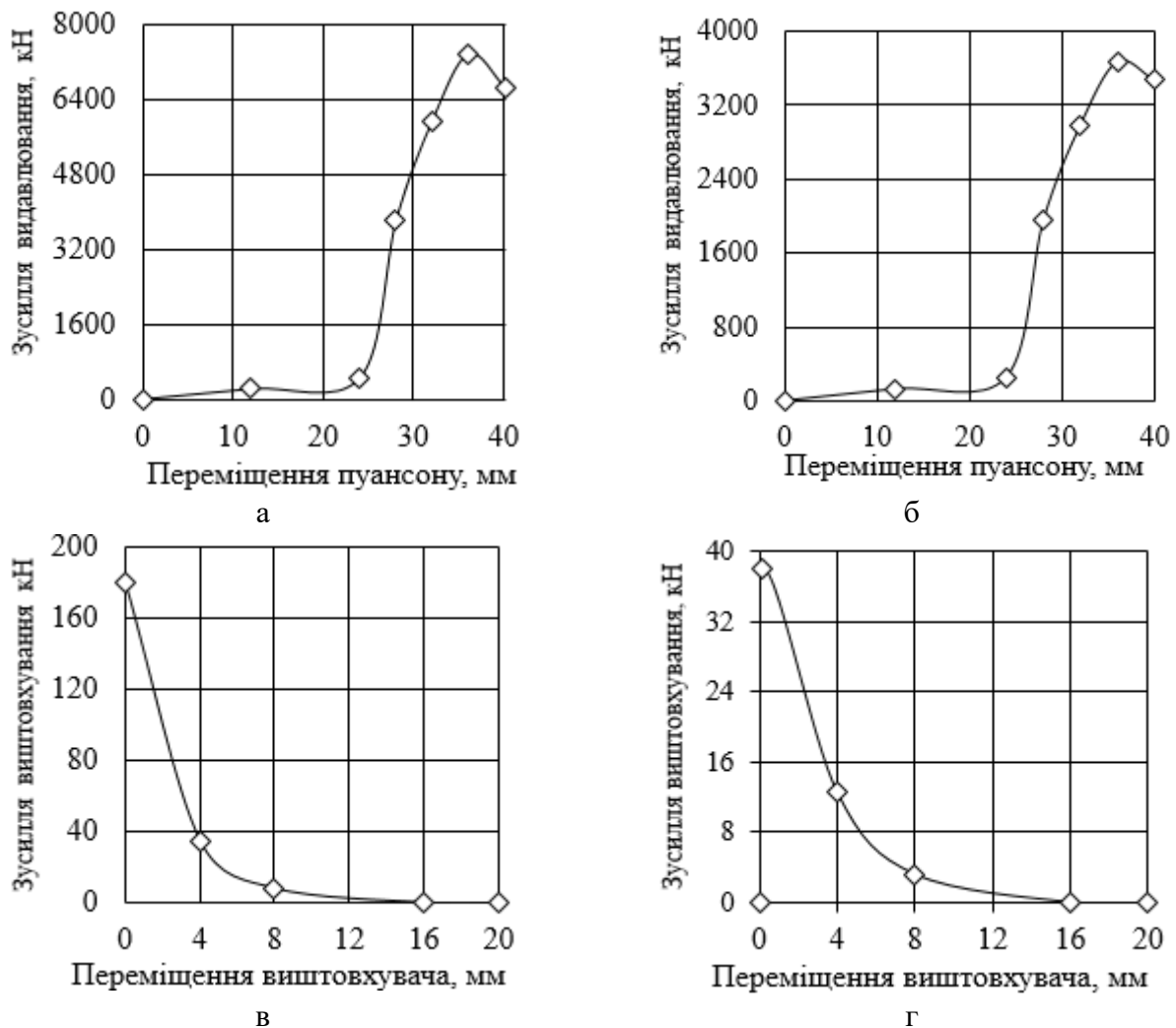


Рис. 2. Силіві режими процесу видавлювання:

а – залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона (заготовка $T = 700\text{ °C}$);

б – залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона (заготовка $T = 1000\text{ °C}$);

в – залежність зусилля виштовхування виробу з матриці від переміщення виштовхувача (для початкової заготовки $T = 700\text{ °C}$); г – залежність зусилля виштовхування виробу з матриці від переміщення виштовхувача (для початкової заготовки $T = 1000\text{ °C}$)

При проектуванні штампового оснащення, важливо знати та врахувати розподіл питомих зусиль на контактуючих поверхнях заготовки з інструментом при максимальному значенні зусилля видавлювання. За допомогою значень нормальних напружень σ_n можна дізнатись такий розподіл, що виникає на контактуючих поверхнях пуансона, матриці та виштовхувача. На рис. 3, а та 3, б відображено розподіл σ_n для заготовки розігрітої до $T = 700\text{ °C}$ та $T = 1000\text{ °C}$ відповідно. Оскільки виріб має вісесиметричну форму, далі буде відображатись половина виробу, тонкими лініями відображено деформуючий інструмент, розміри по всіх наведених в міліметрах. Для заготовки розігрітої до $T = 700\text{ °C}$, на робочій поверхні пуансону, що контактує з виробом $\sigma_n = 736\text{--}974\text{ МПа}$, на робочій поверхні матриці $\sigma_n = 377\text{--}551\text{ МПа}$ та на робочій поверхні виштовхувача $\sigma_n = 500\text{--}1070\text{ МПа}$. Для заготовки розігрітої до $T = 1000\text{ °C}$, на робочій поверхні пуансону, що контактує з виробом $\sigma_n = 377\text{--}511\text{ МПа}$, на робочій поверхні матриці $\sigma_n = 176\text{--}311\text{ МПа}$ та на робочій поверхні виштовхувача $\sigma_n = 210\text{--}551\text{ МПа}$.

На рис. 4 відображено форма та розміри кінцевого напівфабрикату. Розміри внутрішньої порожнини виробу визначаються заданою геометрією пуансона, розміри зовнішньої поверхні виробу відповідають заданим розмірам матриці та розміри донної частини виробу відповідають заданим розмірам виштовхувача, що формують виріб.

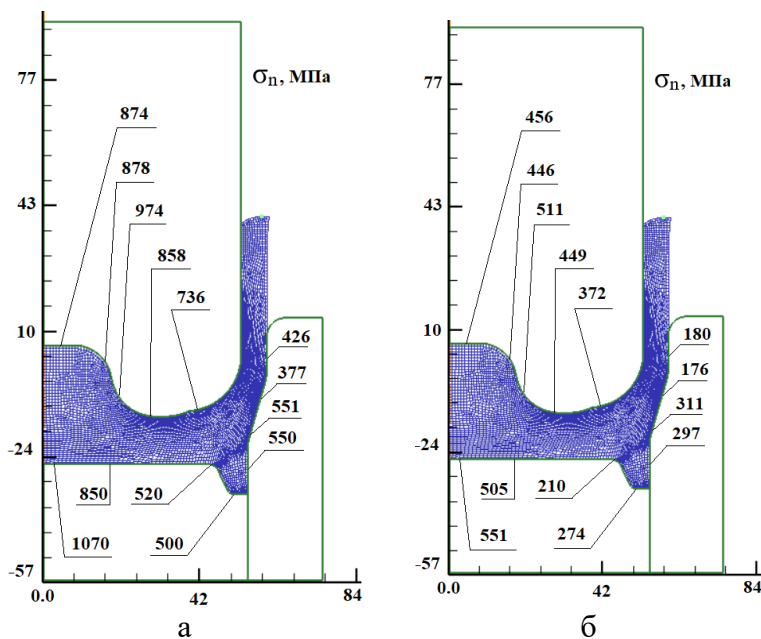


Рис. 3. Розподіли нормальних напружень в заготовці при температурах:
а – $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$; б – $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$

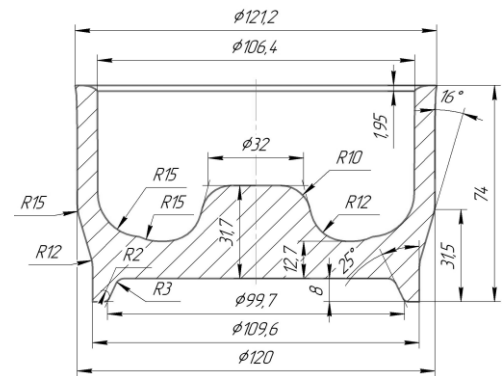


Рис. 4. Форма та розміри кінцевого порожнистого виробу

На рис. 5, б та 5, в відображено розподіл температур по об'єму zdeформованого виробу наприкінці видавлювання для заготовки розігрітої до $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно. Для заготовки розігрітої до $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, в зонах контакту з пуансоном, в процесі деформування виріб охолоджується до $T = 680\text{ }^{\circ}\text{C}$, в зонах контакту з матрицею $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в зонах контакту з виштовхувачем значення падає до $T = 610\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для заготовки розігрітої до $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, в зонах контакту з пуансоном $T = 811\text{--}826\text{ }^{\circ}\text{C}$, в зонах контакту з матрицею $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в зонах контакту з виштовхувачем $T = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рекомендований температурний інтервал гарячого штампування витримано. Видавлювання наступних виробів призведе до розігріву робочого інструменту в результаті чого необхідно буде застосовувати примусове охолодження.

Для заготовок розігрітих до температури $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5 а і рис. 6) та $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 7) відображено напружено-деформований стан металу наприкінці видавлювання. У донній частині під торцем пуансона осьові напруження отримані у межах $\sigma_z = -291\text{--}1050\text{ МПа}$ (див. рис. 5, а), радіальні $-\sigma_r = -443\text{--}855\text{ МПа}$, тангенціальні $-\sigma_\theta = -414\text{--}848\text{ МПа}$. Вигляд розподілів для напружень σ_r і σ_θ практично однаковий. В осередку деформації під пуансоном та між конусною частиною пуансону і матриці осьові σ_z , радіальні σ_r і тангенціальні σ_θ напруження стискаючі та суттєво зменшуються по абсолютній величині у циліндричній частині стінки.

З розподілу інтенсивності напружень σ_i (рис. 6, в), можна побачити, що осередок деформації охоплює всю донну частину zdeформованого виробу. В цій частині інтенсивність напружень знаходиться у межах $\sigma_i = 183\text{--}295\text{ МПа}$. Для заготовки розігрітої до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 7) напружено-деформований стан наступний: у донній частині під торцем пуансона осьові напруження отримані у межах $\sigma_z = -258\text{--}532\text{ МПа}$ (див. рис. 7 а), радіальні $-\sigma_r = -235\text{--}469\text{ МПа}$ (див. рис. 7 б), тангенціальні $-\sigma_\theta = -252\text{--}449\text{ МПа}$ (див. рис. 7 в). Вигляд розподілів для напружень σ_r і σ_θ практично однаковий як і для заготовки розігрітої до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ та осередок деформації охоплює всю донну частину zdeформованої заготовки, в цій частині інтенсивність напружень отримана у межах $\sigma_i = 76\text{--}155\text{ МПа}$ (рис. 8).

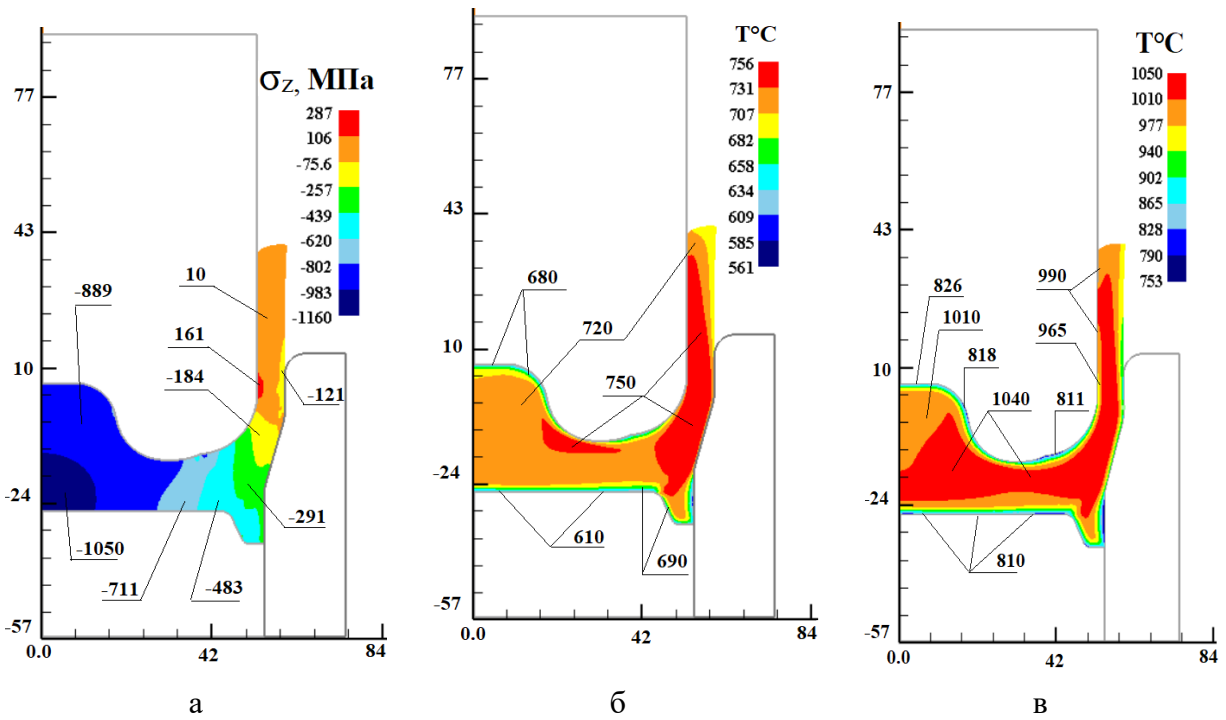


Рис. 5. Розподіл по об'єму виробу компонент напружень σ_z (а) і температур при температурі заготовки $T = 700$ °C (а, б) і $T = 1000$ °C (в)

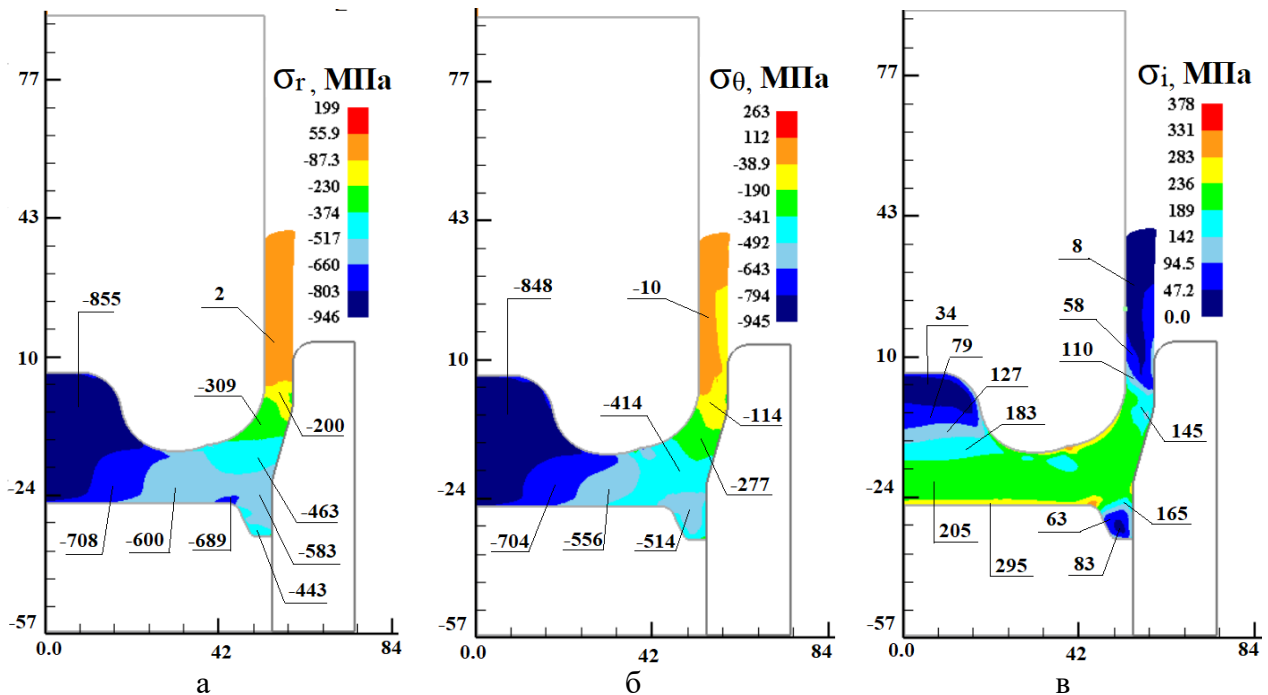


Рис. 6. Розподіл у zdeформованому виробі: компонент напружень ($T = 700$ °C): σ_r (а), σ_θ (б) та σ_i (в)

Для заготовки розігрітої до 700 °C на рис. 9 відображено розподіл деформацій у zdeформованому виробі. На контакті пуансона з виробом у донній частині, а також на контакті виштовхувача з виробом у донній частині виникають значні стискаючі осьові деформації, межі яких $\varepsilon_z = -0,4 - -1,4$ (рис. 9, а). На виступі донної частини виробу ці напруження стають розтягувальними та набувають значень $\varepsilon_z = 0,26 - 0,86$. У шарах металу стінки зі сторони порожнини на контакті з пуансоном $\varepsilon_z = -0,6$, по товщині стінки ці деформації розтягувальні. На рис. 9, б відображені радіальні деформації, у циліндричній і конусній частинах стінки стискаючі і досягають величини $\varepsilon_r = 0,23$ у шарах металу зі сторони порожнини та змінюються по товщині

в напрямку бокової поверхні до величини $\varepsilon_r = 1,4$. В області донної частини поблизу вісі симетрії та на контактуючій поверхні виробу з пуансоном виникають розтягувальні радіальні деформації у межах $\varepsilon_r = 0,2-1,4$. На рис. 10, а в зображенні тангенціальні деформації. Ці деформації розтягувальні у донній частині. Тангенціальні деформації в донній частині та в стінці виробу сягають $\varepsilon_\theta = 0,2-0,4$, а ближче до вісі симетрії контактуючої поверхні виробу з пуансоном ці компоненти стають стискаючими $\varepsilon_\theta = -0,3$. За допомогою розподілу інтенсивності деформацій ε_i , можна оцінити пропрацювання структури металу гарячою пластичною деформацією (див. рис. 10, б). На зовнішній конусній поверхні виробу значення $\varepsilon_i = 2-3$, зі сторони порожнини на циліндричній поверхні $\varepsilon_i = 1,2-2,2$, в донній частині виробу та ближче до осі симетрії $\varepsilon_i = 0,3-0,5$.

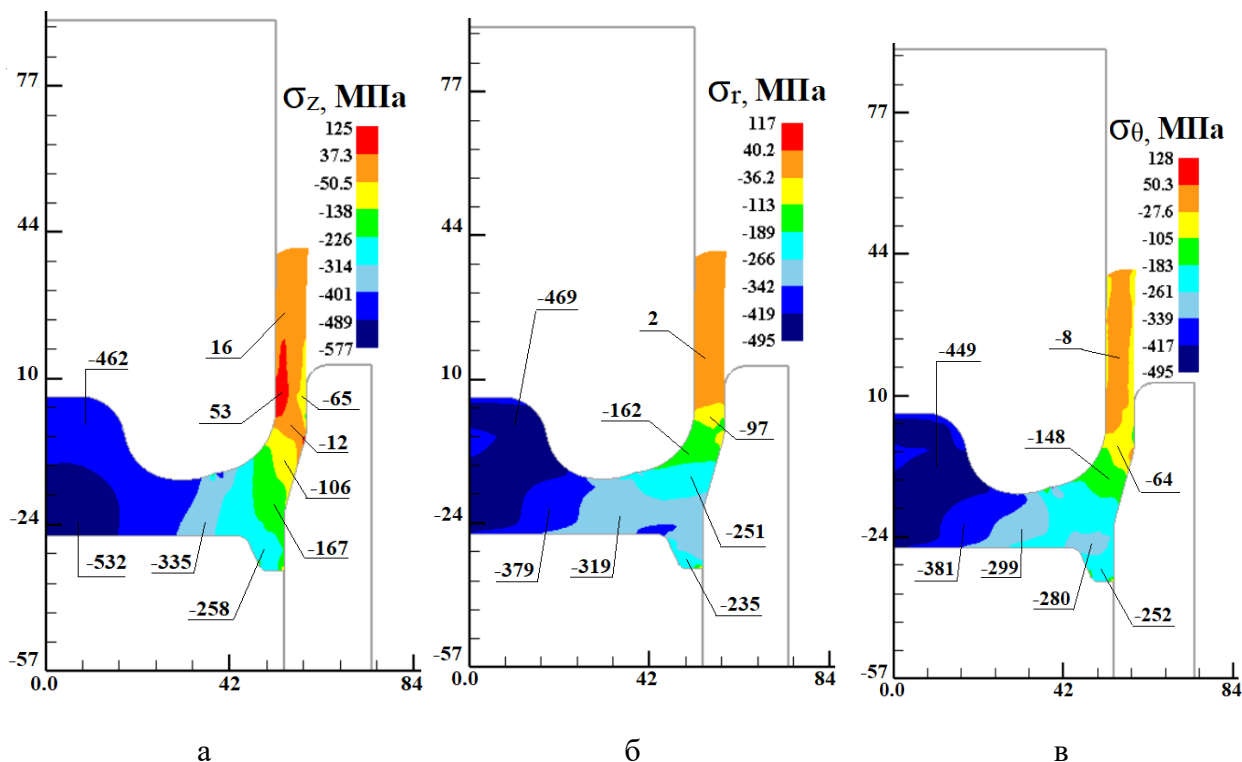
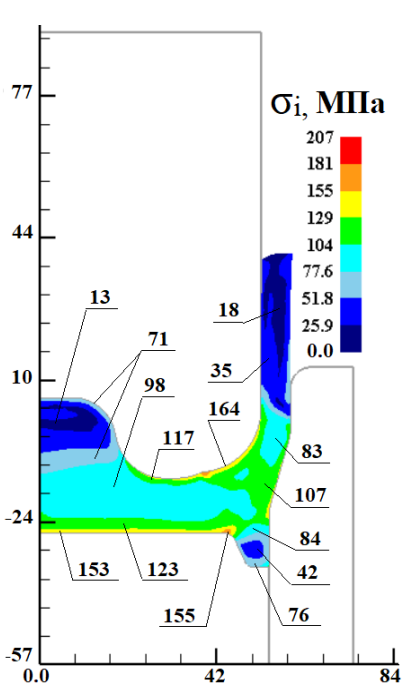


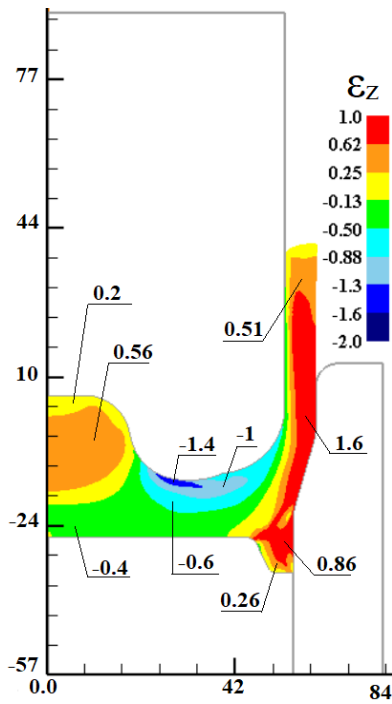
Рис. 7. Розподіл компонент напружень у zdeформованому виробі ($T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$): σ_z (а), σ_r (б), σ_θ (в)

Розподіл інтенсивності деформацій відображено на рис. 11. В донній частині виробу, в зоні контакту виробу з пуансоном від осі симетрії до циліндричної поверхні виробу, розподіл інтенсивності деформацій лежить в межах $\varepsilon_i = 0,41-2,3$. В шарах металу від циліндричної частини виробу до зовнішньої поверхні виробу $\varepsilon_i = 0,1-1,5$. В зоні контакту виробу з конусною частиною матриці ця інтенсивність деформацій сягає найбільших за величиною значень $\varepsilon_i = 2,7-3,3$. В зонах контакту донної частини виробу з торцем виштовхувача значення $\varepsilon_i = 1,0$.



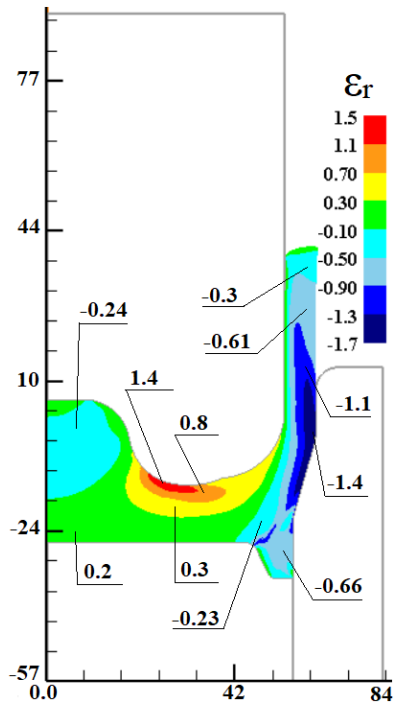
Г

Рис. 8. Інтенсивність напружень σ_i



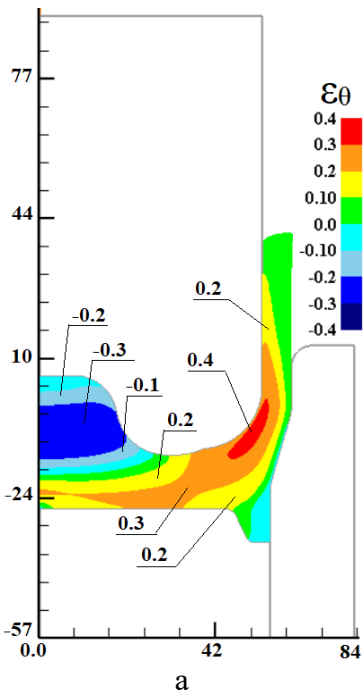
а

Рис. 9. Розподіли осьових ϵ_z (а) та радіальних ϵ_r (б) деформацій у виробі ($T = 700\text{ }^\circ\text{C}$)



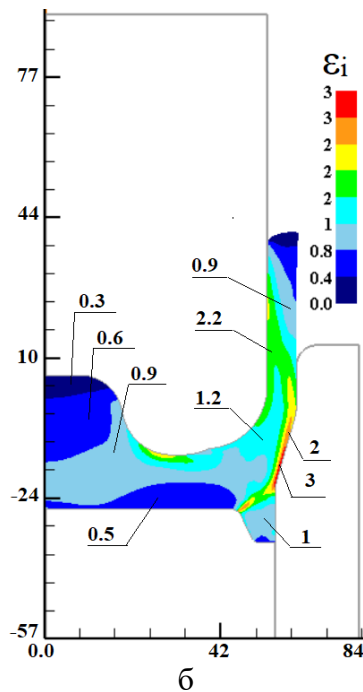
б

Відповідно, також оцінений деформований стан для виробу, що деформувався із заготовки розігрітої до $1000\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 11, рис. 12).



а

Рис. 10. Розподіл тангенціальної компоненти ϵ_θ (а) і інтенсивності деформацій ϵ_i (б)



б

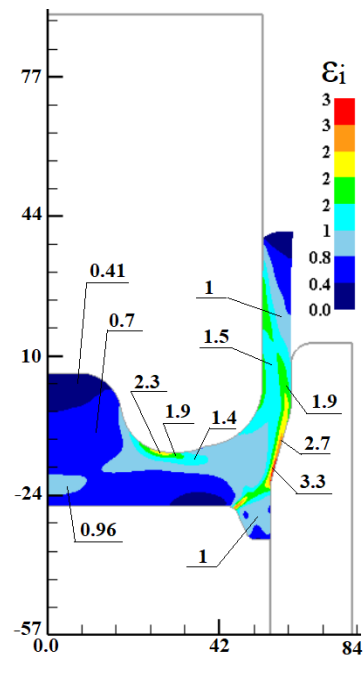


Рис. 11. Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i ($T = 1000\text{ }^\circ\text{C}$)

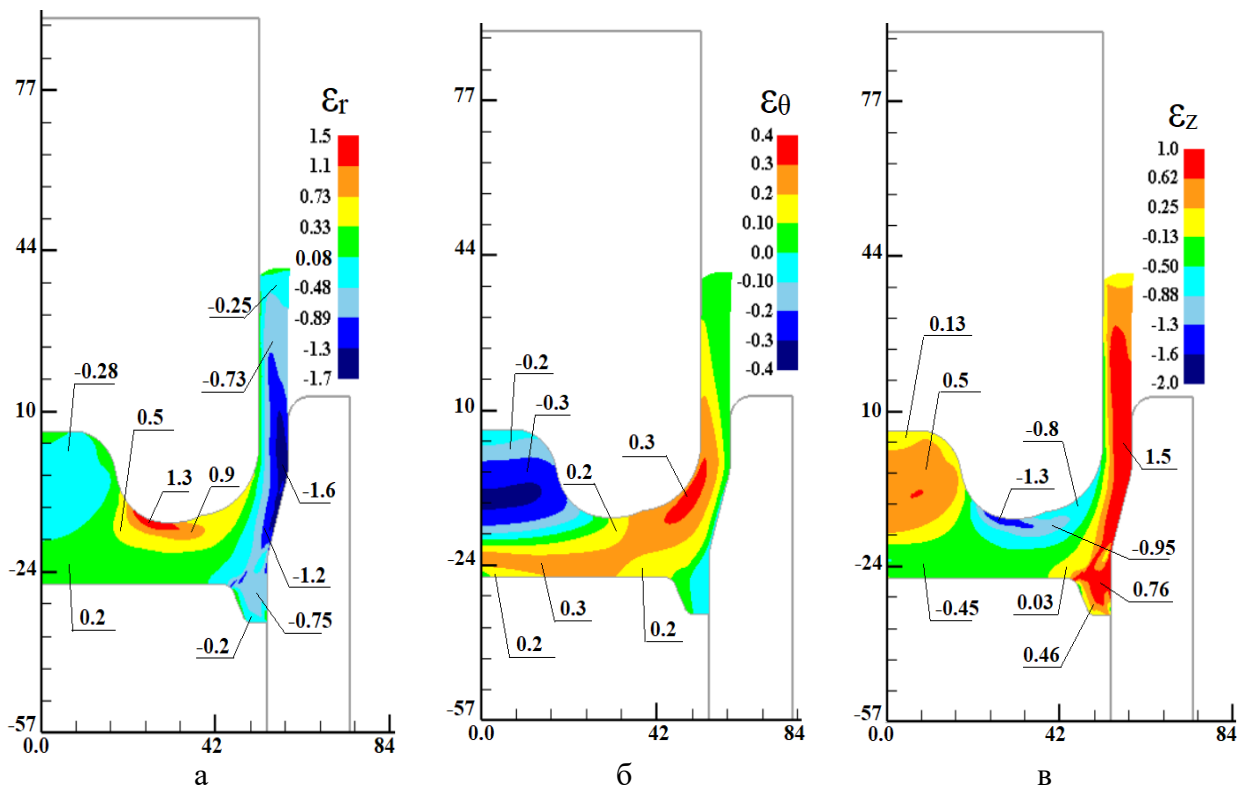


Рис. 12. Розподіл радіальних ε_r (а), тангенціальних ε_θ (б) та осьових ε_z деформацій (в)

На рис. 12, а відображено радіальні деформації в кінцевому виробі. В області донної частини поблизу осі симетрії деформації розтягу $\varepsilon_r = 0,2$, на контактуючій поверхні виробу з пуансоном виникають також розтягуючі радіальні деформації у межах $\varepsilon_r = 0,5-1,3$, у циліндричній і конусній частинах стінки стискаючі і досягають величини $\varepsilon_r = -0,25-1,6$. Розглядаючи рис. 12 б, можна побачити розподіл тангенціальних деформацій. Біля осі симетрії на контактуючій поверхні виробу з пуансоном відбуваються деформації стиску $\varepsilon_\theta = -0,3$. В донній частині та в стінці виробу сягають $\varepsilon_\theta = 0,2-0,3$. В зоні контакту донної частини виробу з торцем виштовхувача значення $\varepsilon_z = -0,45$ стискаючі, на внутрішній поверхні виробу з виступом пуансона також стискаючі $\varepsilon_z = -0,8-1,3$, в зоні контакту виробу з матрицею деформації стають розтягуючими $-\varepsilon_z = 0,76-1,5$ (див. рис. 12, в).

ВИСНОВКИ

За допомогою МСЕ досліджено вплив початкової температури заготовки на параметри напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою вісесиметричного порожнистого виробу із маловуглецевої сталі. Встановлено, що обидва способи дозволяють отримати необхідну кінцеву форму та розміри напівфабрикату, а також витримати рекомендований температурний інтервал гарячого штампування.

Результати комп'ютерного моделювання показали, що зусилля гарячого процесу формоутворення виробу у порівнянні з напівгарячим відрізняється у 2 рази, а зусилля виштовхування – у 4,7 разів. Отримані значення розподілу питомих зусиль вказують на найбільш навантажені ділянки інструменту, що дає можливість правильно обрати матеріал робочих деталей штампу, а також спрогнозувати їх стійкість і потенційні місця підвищеного зношення.

Встановлені параметри напружено-деформованого стану дозволяють зробити висновок, що пропрацювання структури металу краще при напівгарячому видавлюванні, що особливо помітно у дні напівфабрикату і у місці переходу дна у стінку.

Остаточний вибір тієї чи іншої технології виготовлення деталі залежить від конкретних вимог до механічних властивостей кінцевого виробу і наявних виробничих потужностей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х т. Москва: Машиностроение. 1986. Т. 2. Горячая объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 592 с.
2. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. Днепропетровск: Системные технологии. 2008. 448 с.
3. Снитко С.А., Калюжный В.Л. Конечно-элементное моделирование многопереходного формоизменения при производстве железнодорожных колес. *Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение.* Киев: НТУУ «КПИ». 2011. 11. С. 106–112.
4. Алиев И.С., Марков О.Е., Жбанков Я.Г. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций. *Обработка материалов давлением.* Краматорск: ДГМА, 2010. 3 (24). С. 64–69.
5. Алиев И.С., Жбанков Я.Г., Таган Л.В. Управление напряженно-деформированным состоянием заготовки в процессах ковки крупных поковок. *Обработка материалов давлением.* Краматорск: ДГМА. 2013. 1 (34). С. 50–59.
6. Марков О.Е., Шарун А.О., Косилов М.С. Современные способы получения тонкостенных днищ ответственного назначения. *Обработка материалов давлением.* Краматорск: ДГМА. 2017. 1 (44). С. 115–123.
7. Калюжный В.Л., Алиева Л.И., Ярмоленко О.С., Ситник С.В. Гаряче видавлювання із високовуглецевої сталі конусних порожнистих виробів. *Mech. Adv. Technol.* 6. 3. 2022. С. 302–308.
8. Калюжный В.Л., Алиева Л.И., Алиев И.С., Горностаи В.Н. Горячая объемная штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданными механическими свойствами. *Заготовительные производства.* Москва. 2018. 12. С. 18–25.

REFERENCES

1. Forging and stamping. Handbook. In 4 t., T. 2. Hot stamping. Ed. Semenov E.I. Moscow: Mechanical Engineering. 1987. 592 p. (*in Russian*).
2. Danchenko V.N., Mylenyn A.A., Kuzmenko V.Y. Computer design of processes of treatment of metals pressure. Numeral methods. Dnipropetrovsk: System technologies. 2008. 448 p. (*in Russian*).
3. Snytko S.A., Kaliuzhnyi V.L. Finite element modeling of multi-junction shaping in the production of railway wheels. *Bulletin of the NTUU «KPI». Mashynostroenye.* Kyev: NTUU «KPI». 2011. 11, pp. 106–112. (*in Russian*).
4. Aliiev I.S., Markov O.E., Zhbakov Ya.H. Influence of the operation of inverting the forging with conical and slabs on the distribution of deformations. *Material Working by Pressure.* Kramatorsk: DSEA. 2010, 3 (24), pp. 64–69. (*in Russian*).
5. Aliiev I.S., Zhbakov Y.H., Tagan L.V. Control of the stress-strain state of the workpiece in the forging of large forgings. *Materials Working by Pressure.* Kramatorsk: DSEA. 2013. 1 (34), pp. 50–59. (*in Russian*).
6. Markov O.E., Sharun A.O., Kosylov M.S. Modern methods of obtaining thin-walled bottoms for critical purposes. *Materials Working by Pressure.* Kramatorsk: DSEA. 2017. 1 (44), pp. 115–123. (*in Russian*).
7. Kaliuzhnyi V.L., Alieva L.I., Yarmolenko O.S., Sytnyk S.V. Hot extrusion of high carbon steel cone hollow products. *Mech. Adv. Technol.* 6. 3. 2022, pp. 302–308.
8. Kaliuzhnyi V.L., Aliieva L.I., Aliiev I.S., Hornostai V.N. Hot die forging of hollow products from high-strength aluminum alloy with specified mechanical properties. *Blank production.* Moscow. 2018. 12, pp. 18–25. (*in Russian*).

Kaliuzhnyi V., Sytnyk S., Savchenko D., Chuchin O. Semi-hot and hot backward extrusion with expansion of an axisymmetric hollow part.

Using the finite element method, the process of semi-hot and hot backward extrusion with the expansion of a hollow part made of mild steel with protrusions on the bottom was simulated. The purpose of the work was to obtain, using the finite element method, the influence of the temperature of the initial workpiece on the parameters of semi-hot and hot reverse extrusion with distribution of an axisymmetric hollow semi-finished product. The initial dimensions of the workpiece to obtain a semi-finished product with the required shape and dimensions are determined. The temperature of the workpiece for semi-hot extrusion was 700°C, for hot 1000°C. The process of reverse extrusion with the distribution of a hollow semi-finished product is described step by step. The process of reverse extrusion with distribution and the process of pushing the finished product out of the matrix are analyzed. The dependence of the force of the process of reverse extrusion with delivery on the movement of the punch and the dependence of the force of pushing out the formed hollow semi-finished product from the matrix on the movement of the ejector for semi-hot and hot reverse extrusion with distribution were determined. The distribution of specific forces on the ends of the punch, ejector and along the height of the working surface of the matrix was determined using the values of normal stresses. The final shape and dimensions of the hollow semi-finished product are established. The development of the metal structure in the wall and in the bottom part of the product by plastic deformation was analyzed using the value of the intensity of deformations. Near the contact surfaces between the workpiece and the working tool, the cooling temperature is shown. The distribution of temperature, stress and strain for the final stage of molding is shown.

Key words: finite element method, hot and semi-hot reverse extrusion, distribution, hollow part, force, temperature, stress, deformation, strain intensity.

Калужний Володимир Леонідович – д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Kaliuzhnyi Volodymyr - Doctor of Technical Sciences, Full Professor, NTUU "Igor Sikorsky KPI"
E-mail: kwl_2011@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-8879>

Ситник Станіслав Володимирович – аспірант, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Sytnyk Stanislav – Graduate student, NTUU "Igor Sikorsky KPI"
E-mail: sytnykstas@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1358-268X>

Савченко Денис Валентинович - головний фахівець відділу, ДП «УОС»
Savchenko Denys - chief specialist of the technological policies department, SE «UOS»
E-mail: savchenko.dv@uos.ua

Чучин Олег Володимирович – канд. техн. наук, ст. викл. ДДМА
Chuchin Oleg – PhD in Technical Science, Senior Lecturer of DSEA
E-mail: ovch2111@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9728-9925>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»), м. Київ
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (NTUU "Igor Sikorsky KPI"), Kyiv

Державне підприємство «Укроборонсервіс» (ДП «УОС»), м. Київ
SE «UOS» – State Enterprise «Ukroboronservice», Kyiv

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ
Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk

Стаття надійшла до редакції 12.07.23 р.