

УДК 621.983

ГАРЯЧЕ ШТАМПУВАННЯ ІЗ СТАЛІ 20 ВІСЕСИМЕТРИЧНОГО ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВИДАВЛЮВАННЯ ТА ВИТЯГУВАННЯ ІЗ ПОТОНШЕННЯМ БЕЗ ПРОМІЖНОГО НАГРІВУ МІЖ ПЕРЕХОДАМИ

Калюжний В.Л., Бондарь А.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Розглянуте моделювання з використанням метода скінченних елементів гарячого витягування з потоншенням із сталі 20 вісесиметричного порожнистого виробу. При витягуванні враховані температура і деформації, які отримані на переході видавлювання порожнистого конусного напівфабрикату. Виконані розрахунки витягування та доштампування донної частини з отриманням фланця на зовнішній поверхні. Встановлені залежність зусилля деформування від переміщення пуансона, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. У zdeформованій заготовці визначений кінцевий температурний розподіл та напружено-деформований стан металу. По розподілу інтенсивності деформацій оцінено пропрацювання структури металу пластичною деформацією. Також встановлені кінцеві форма і розміри виробу.

Ключові слова: метод скінченних елементів, гаряче видавлювання, порожнистий виріб, зусилля, питомі зусилля, температурний інтервал, інтенсивність деформацій, форма і розміри виробу.

При виробництві порожнистих виробів гарячим штампуванням з використанням операцій зворотного видавлювання та подальшого витягування із потоншенням в теперішній час необхідно вирішувати задачу збільшення продуктивності виробництва. Суттєве підвищення продуктивності штампування можна досягти завдяки виконанню переходів видавлювання та витягування на одному пресовому обладнанні. Швидкість деформування на пресі повинна бути такою, щоб не відбувалося значного охолодження при видавлюванні напівфабрикату і залишкова температура була достатньою для виконання гарячого витягування на другому переході штампування, або провести витягування в режимі напівгарячої деформації. Технології гарячого штампування порожнистих виробів проектується з використанням даних експериментальних досліджень та виробничого досвіду [1]. У вказаному джерелі практично відсутні дані по здійсненню технології штампування на одному пресі порожнистих виробів за два переходи. Використання методу скінченних елементів для визначення параметрів технології гарячого штампування порожнистих виробів дозволяє виявити геометричну форму і розміри виробів, а також оцінити пропрацювання структури металу пластичною деформацією по розподілу інтенсивності деформацій [2], що дозволяє забезпечити потрібні механічні властивості zdeформованого металу після термічної обробки.

Метою роботи є встановлення за допомогою метода скінченних елементів можливості проведення на одному пресовому обладнанні гарячого видавлювання порожнистого напівфабрикату та подальшого витягування з нього готового виробу.

Моделювання гарячого видавлювання було проведене в скінченно-елементній програмі DEFORM. Вихідна заготовка із сталі 20 мала діаметр 110 мм і висоту 32,5 мм. Температура заготовки складала 1000 °С. Для забезпечення температури гарячого деформування швидкість деформування прийнята $V_0=60$ мм/сек. Тертя на контактуючих поверхнях враховане по Зібелю з коефіцієнтом тертя $\mu=0,2$.

Вихідні дані для виконання моделювання витягування приведені на рис. 1. Тут і на подальших рисунках тонкими лініями зображений деформуючий інструмент, а розміри по вісях приведені в міліметрах. На рис. 1а показані форма і розміри напівфабрикату після

видавлювання, форма і розміри деформуючого інструменту для витягування та його розташування. Витягування здійснюється за допомогою пуансона через дві послідовно

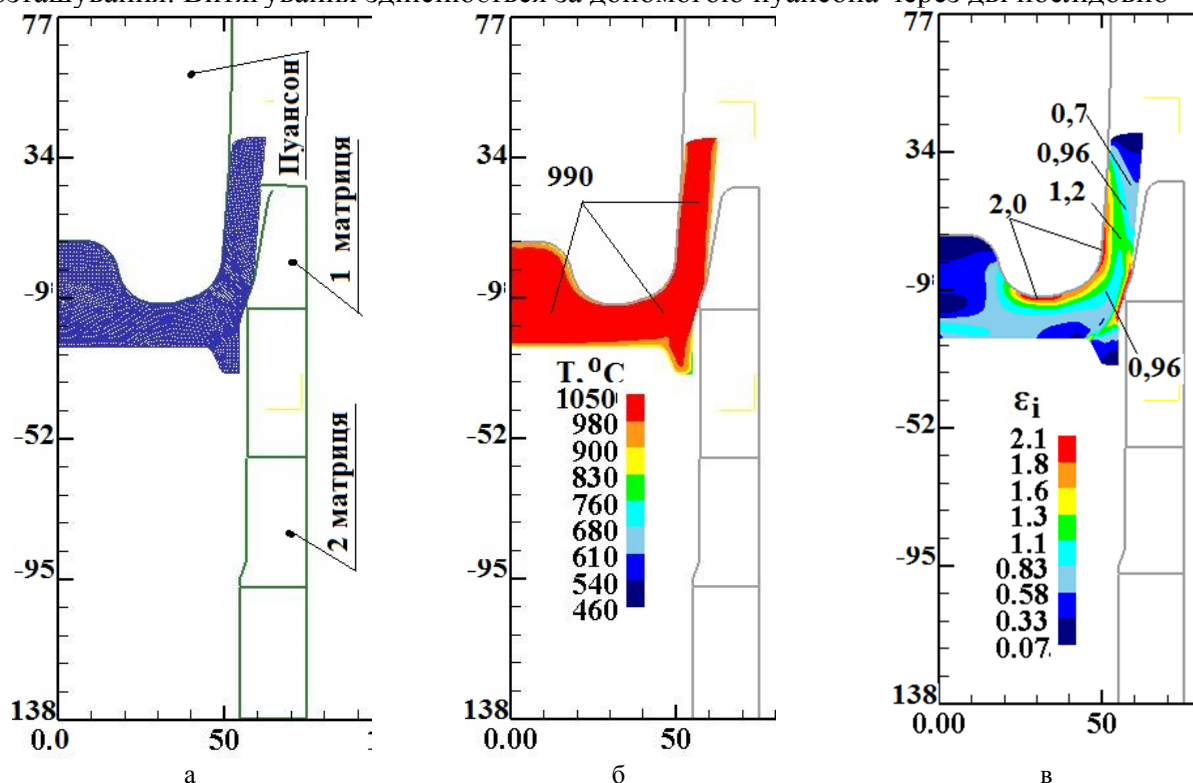


Рис. 1 – Вихідні дані для моделювання витягування: а – розміри половини напівфабрикату після видавлювання та деформуючого інструменту і його розташування, б – розподіл кінцевої температури ($T, ^\circ\text{C}$) у напівфабрикаті, в – розподіл інтенсивності деформацій (ε_i) у напівфабрикаті

розташовані матриці. Після закінчення витягування у другій матриці ще відбувається доштампування донної частини, що буде наведено нижче. Розподіли у напівфабрикаті кінцевої температури ($T, ^\circ\text{C}$) та інтенсивності деформацій (ε_i) показані відповідно на рис. 1б і рис. 1в.

Розрахункові схеми в розрізі показані на рис. 2. На рис. 2а приведена схема на початку витягування. Напівфабрикат 1 розміщений у першій матриці 2, яка розміщена на другій матриці 3. Формоутворення виконується за допомогою пуансона 4. Положення після витягування у першій матриці зображене на рис. 2б, а після витягування у другій матриці – на рис. 2в. На рис. 2г представлена схема в кінці доштампування донної частини, яке здійснюється в роз'ємних напівматрицях 5, що розміщені на плиті 6. В результаті отримується виріб 7.

Розрахунковим аналізом встановлені, силові режими витягування та доштампування, питомі зусилля на деформуючому інструменті, зміна температури при формоутворенні, напружено-деформований стан металу та кінцеві форма і розміри виробу.

Зусилля деформування та розподіл нормальних напружень на інструменті показані на рис. 3. На рис. 3а показана залежність зусилля витягування та доштампування від переміщення пуансона. Графік зусилля має три максимуми. Перший (415 кН) отриманий на стадії витягування у першій матриці. Витягування у другій матриці починається при зменшенні зусилля деформування у першій матриці. На цій стадії зусилля досягає максимальної величини 557 кН. Знизити зусилля у другій матриці можна завдяки збільшенню ступеня деформації у першій матриці. Доштампування також починається при суттєвому зменшенні зусилля витягування у другій матриці та завершується при зусиллі 1260 кН. Вигляд графіка, в якому максимальне зусилля має місце в кінці

формоутворення, дозволяє реалізувати штампування на кривошипному пресовому обладнанні.

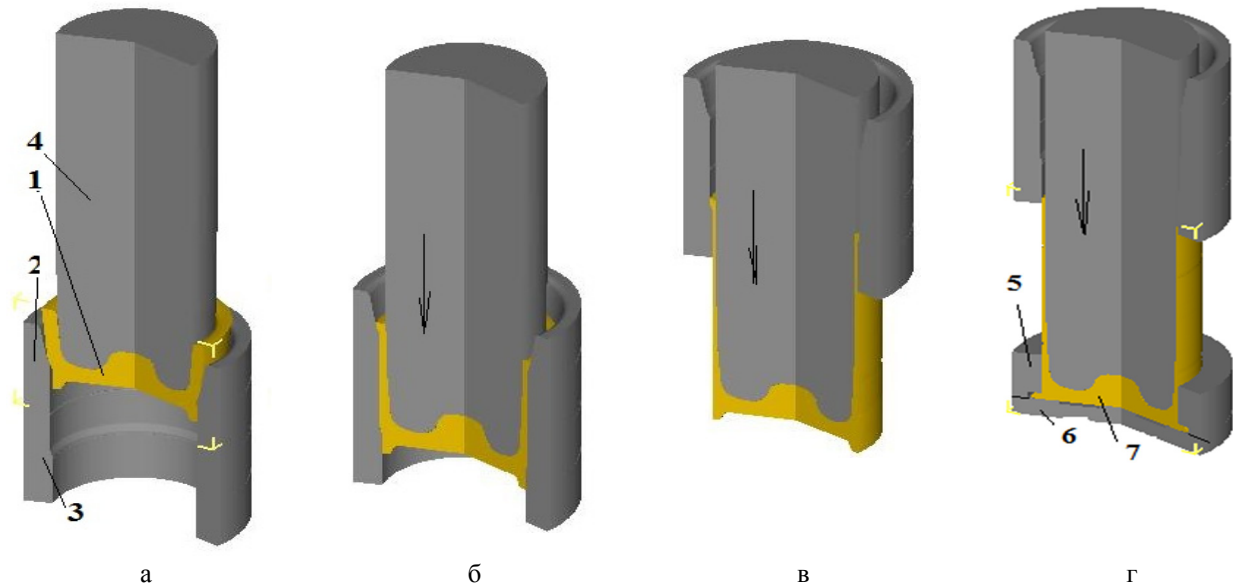


Рис. 2 – Розрахункові схеми в розрізі: а – на початку видавлювання, б – в кінці витягування у першій матриці, в – в кінці витягування у другій матриці, г – при виштовхуванні напівфабрикату із матриці

На рис. 3б показані розподіли нормальних напружень σ_n на поверхнях заготовки, які контактують з деформуючим інструментом та виникають при максимальному значенні зусилля деформування. По цим напруженням можна оцінити питомі зусилля. Найбільші величини питомих зусиль виникають на напівматриці та на плиті. Максимальні значення питомих зусиль складають: на пуансоні - $\sigma_n=400$ МПа, на плиті - $\sigma_n=520$ МПа, на напівматриці - $\sigma_n=400$ МПа.

На рис. 4 представлені розподіли температури ($T, ^\circ\text{C}$) та інтенсивності деформацій (ε_i) у

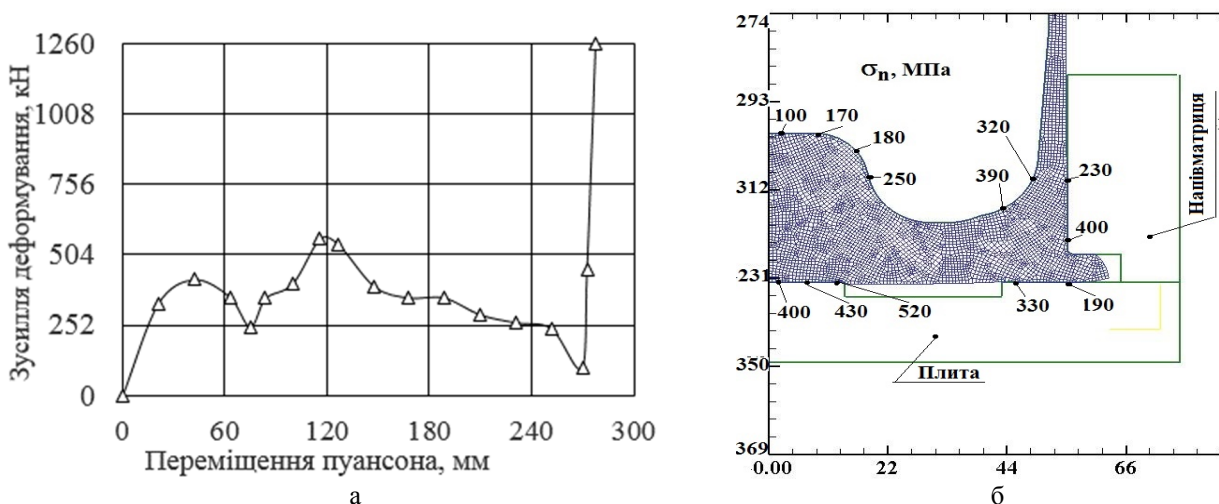


Рис. 3 – Зусилля деформування та розподіл питомих зусиль: а – залежність зусилля від переміщення пуансона, б – розподіли нормальних напружень на контактуючих поверхнях

здеформованому металі в кінці витягування у першій та другій матрицях. Після витягування у першій матриці температурний інтервал штампування зберігається по всьому об'єму здеформованого напівфабрикату. Температура знаходиться у межах $T=940\div 1000^\circ\text{C}$. Тільки у шарах металу, які контактують з деформуючим інструментом має місце охолодження до величини $T=790^\circ\text{C}$. На цій стадії витягування зростає величина інтенсивності деформацій по

ширині стінки (рис. 4б) в порівнянні з вихідним станом напівфабрикату (див. рис. 1в) та відбувається вирівнювання цих деформацій як по висоті, так і по ширині стінки. Витягування у другій матриці закінчується при охолодженні металу стінки до температури $T=800\div 830^{\circ}\text{C}$ (рис. 4в). У донній частині, в області доштампування для отримання фланця, температура складає $T=940^{\circ}\text{C}$, що достатньо для виконання умови гарячого деформування. Розподіл

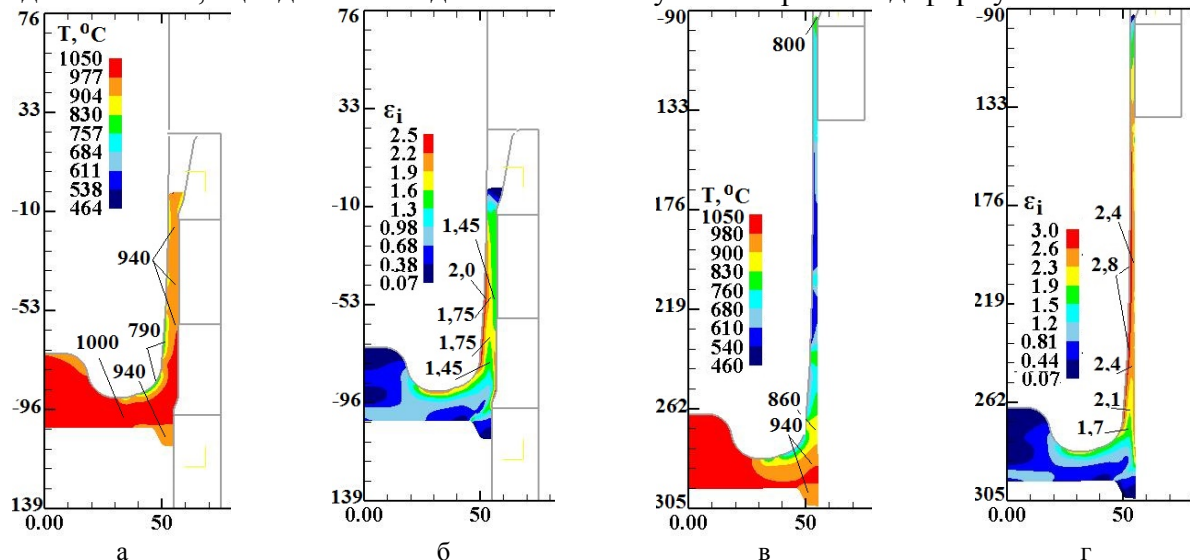


Рис. 4 - Розподіли температури та інтенсивності деформацій у zdeформованому металі в кінці витягування у першій та другій матрицях: а і б – в кінці витягування у першій матриці, в і г – в кінці витягування у другій матриці

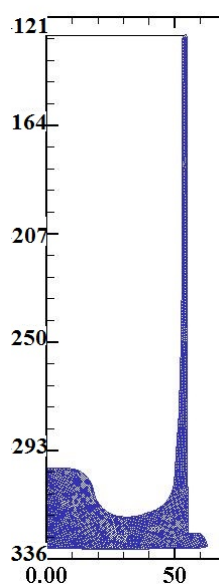


Рис. 5 – Форма і розміри виробу після доштампування

інтенсивності деформацій після витягування у другій матриці показаний на рис. 4г. Ще більше вирівнюється деформований стан по ширині стінки. У шарах металу зі сторони порожнини отримано $\varepsilon_i=2,8$. В шарах металу на зовнішній поверхні - $\varepsilon_i=2,4$. У верхній частині стінки на висоті до 40 мм інтенсивність деформацій отримана у межах $\varepsilon_i=0,8\div 1,9$. Це дозволяє, при необхідності, виконати обтиск цієї частини після відпалу виробу, тому вона буде мати більшу пластичність, а інша частина стінки має меншу вірогідність втрати стійкості при обтиску.

На рис. 5 зображені форма і розміри виробу. Зовнішня поверхня стінки виробу має постійний діаметр, а внутрішня поверхня має на верхньому торці найбільший діаметр, який зменшується до донної частини.

Таким чином, встановлена можливість здійснення операцій витягування із потоншенням через дві матриці і доштампування донної частини в умовах гарячої деформації напівфабрикату, який отриманий зворотним видавлюванням з достатньою для цього кінцевою температурою. Це дозволяє виконати два переходи виготовлення виробу (видавлювання та

витягування з потоншенням із доштампуванням) на одному пресовому обладнанні. При цьому суттєво збільшується продуктивність виготовлення та знижується собівартість виробу завдяки виключенню розігріву напівфабрикату після видавлювання та використанню одного пресу.

Висновки. 1. Методом скінченних елементів створена математична модель та проведений розрахунковий аналіз процесу гарячого штампування порожнистого виробу, що включає витягування із потоншенням через дві матриці та доштампування донної частини порожнистого

конусного напівфабрикату, який отриманий гарячим зворотним видавлюванням та має достатню для здійснення штампування кінцеву температуру. 2. Для вибору пресового обладнання визначені зусилля деформування та робота деформації. Встановлена можливість виконання гарячого витягування із потоншенням та доштампуванням одразу після видавлюванням на одному пресовому обладнанні без розігріву напівфабрикату та використати для цього кривошипне обладнання. 3. Для проектування штампного оснащення та вибору матеріалу основного деформуючого інструменту розраховані точні розподіли питомих зусиль при максимальному зусиллі штампування. 4. Для оцінки якості виробу, крім форми і його розмірів, наведений розподіл інтенсивності деформацій у zdeформованому металі.

Список використаних джерел.

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. Калюжный В.Л., Алиева Л.И., Алиев И.С., Горностаев В.Н. Горячая объемная штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданными механическими свойствами. Заготовительное производство. Москва. 2018. 12. С. 18-25.

ГОРЯЧЕЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ИЗ СТАЛИ 20 КОНУСНОГО ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ПОЛОГО ИЗДЕЛИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫДАВЛИВАНИЯ И ВЫТЯЖКИ С УТОНЕНИЕМ БЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНОГО НАГРЕВА МЕЖДУ ПЕРЕХОДАМИ

Калюжный В.Л., Бондарь А.Н.

КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

Рассмотрено моделирование с использованием метода конечных элементов горячей вытяжки с утонением из стали 20 полого изделия. При вытяжке учтены температура и деформации, которые получены на переходе выдавливания конусного полого полуфабриката. Выполнены расчеты вытяжки и доштамповки донной части для получения фланца на внешней поверхности. Установлены зависимость усилия деформирования от перемещения пуансона, распределение удельных усилий на деформирующем инструменте. В сформированной заготовке определено температурное распределение и напряженно-деформированное состояние металла. По распределению интенсивности деформаций оценена проработка структуры металла пластической деформацией. Также установлены конечные форма и размеры изделия.

Ключевые слова: метод конечных элементов, горячее выдавливание, полый полуфабрикат, усилие, удельные усилия, интенсивность деформаций, форма и размеры полуфабриката.

HOT FORGING FROM STEEL 20 TAPERED AXISYMMETRIC HOLLOW PRODUCT USING EXTRUSION AND EXTRACTION WITH THINKING WITHOUT INTERMEDIATE HEATING BETWEEN TRANSITIONS

Kaliuzhnyi V.L., Bondar A.N.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Modeling using the finite element method of hot drawing with thinning of steel 20 of a hollow product is considered. When drawing, the temperature and deformations, which were obtained at the transition of extrusion of a conical hollow semi-finished product, were taken into account. Calculations of drawing and stamping of the bottom part were performed to obtain a flange on the outer surface. The dependence of the deformation force on the movement of the punch, the distribution of specific forces on the deforming tool are established. The temperature distribution and stress-strain state of the metal are determined in the deformed workpiece. According to the distribution of the intensity of deformations, the study of the metal structure by plastic deformation is estimated. The final shape and dimensions of the product are also established.

Key words: finite element method, hot extrusion, hollow semi-finished product, force, specific forces, intensity of deformations, shape and size of semi-finished product.