УДК 621.983

Гордійчук В.А. студ., Калюжний В.Л. д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ

ГАРЯЧЕ ЗВОРОТНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Методом скінченних елементів проведений аналіз гарячого зворотного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів із високовуглецевої сталі ASSI 1060. Встановлено вплив швидкості деформування на зусилля видавлювання, зміну температури при формоутворенні, напружено-деформований стан металу при гарячому формоутворенні. Приведені залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансонів, показані розподіли напружень у здеформованій заготовці в кінці видавлювання. Виявлений розподіл питомих зусиль на поверхнях контакту заготовки з деформуючим інструментом при максимальному зусиллі видавлювання. Показаний кінцевий деформований стан після видавлювання.

Ключові слова: гаряче видавлювання, метод скінченних елементів, порожнистий виріб, швидкість деформування, зусилля видавлювання, напруження, деформації.

Метою роботи є визначення і порівняння параметрів гарячого видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів при формоутворенні з різною швидкістю деформування.

На рис. 1 приведений ескіз порожнистого виробу, який необхідно отримати гарячим видавлюванням. Встановлення параметрів проводили шляхом моделювання методом скінченних елементів з використанням програми DEFORM. Видавлюванню із коефіцієнтом тертя μ=0,2 та швидкостями деформування V=7 мм/сек та V=20 мм/сек підлягали циліндричні заготовки із сталі AISI 1060 діаметром D_0=180 мм і висотою H_0=190 мм. Розміри пуансона для видавлювання визначалися по розмірах порожнини з висотою калібруючого пояскам 2 мм, а розміри матриці – по розмірах зовнішньої поверхні виробу.

На рис. 2 приведені в розрізі розрахункові положення деформуючого інструменту і заготовки на різних стадіях видавлювання. Положення на початку видавлювання зображене на рис. 2а. Вихідна заготовка 1 розміщена в матриці 2 і спирається нижнім торцем на конічну поверхню. Течія металу по цій поверхні обмежена виштовхувачем3. Зусилля деформування прикладали за допомогою пуансону 4. На рис. 2б наведене положення при переході процесу

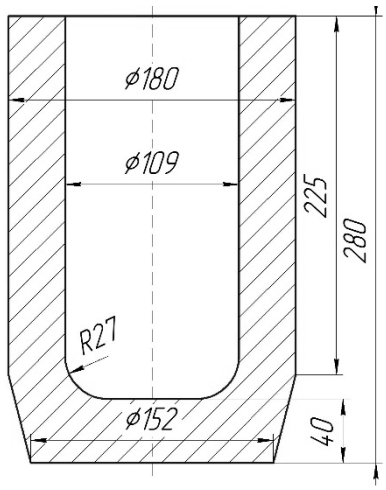
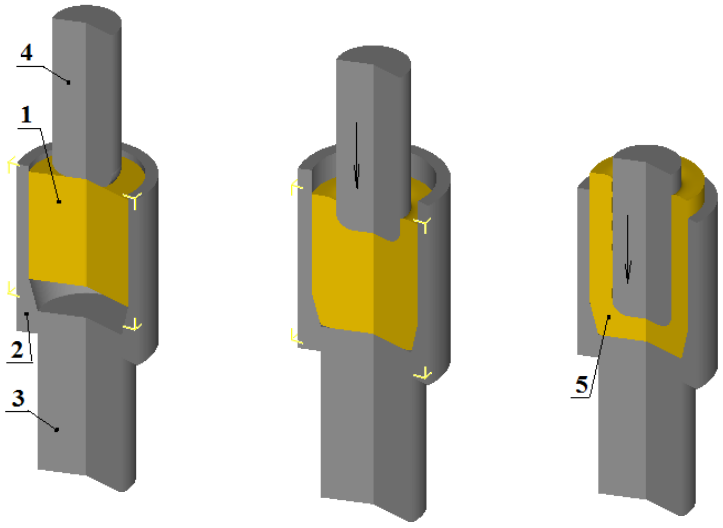


Рис. 1 – Ескіз порожнистого виробу



а **б** **в**

Рис. 2 – Розрахункові положення деформуючого інструмента на різних стадіях видавлювання: а – на початку видавлювання, б – на переході процесу в усталену стадію, в - в кінці видавлювання

видавлювання в усталену стадію, на якій спостерігається незначне збільшення зусилля деформування. Положення в кінці видавлювання з отриманням виробу 5 зображене на рис. 2в.

На рис. 3 показані залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансонів. Вигляд залежностей для видавлювання з різними швидкостями деформацій практично однаковий. Процеси видавлювання переходять в усталену стадію при переміщенні пуансонів 80 мм і різними величинами зусиль P_d: P_d=5,6 МН для V=20 мм/сек і P_d=5,9 МН для V=7 мм/сек. На усталеній стадії зусилля видавлювання із швидкістю V=7 мм/сек зростає інтенсивніше і досягає величини P_d=6,71 МН в кінці видавлювання, а при видавлюванні із V=20 мм/сек в кінці видавлювання отримано P_d=5,8 МН. В обох випадках видавлювання переміщення пуансона в кінці видавлювання складає 205 мм. Зниження зусилля деформування при формоутворенні із V=20 мм/сек забезпечується завдяки меншому охолодженню здеформованого металу в процесі видавлювання. На рис. 4 наведені розподіли температури у здеформованому металі в кінці процесів видавлювання. Для видавлювання із V=7 мм/сек температура у стінці знижується з 980ºС до 780 ºС на шарах металу зі сторони порожнини та до 510 ºС на зовнішніх шарах (рис. 4а). У донній частині заготовки є невелика зона з величиною температури 870 ºС. В іншому випадку видавлювання температура відповідно знижується до величин 890 ºС і 650 ºС у стінці. А в донній частині отримано 890 ºС. При цьому зона з такою температурою значно більша.

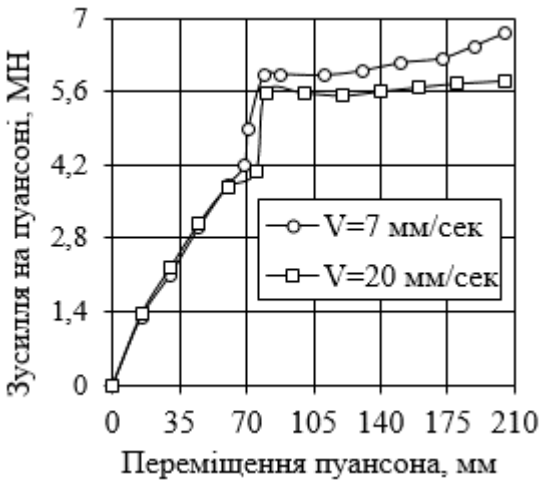
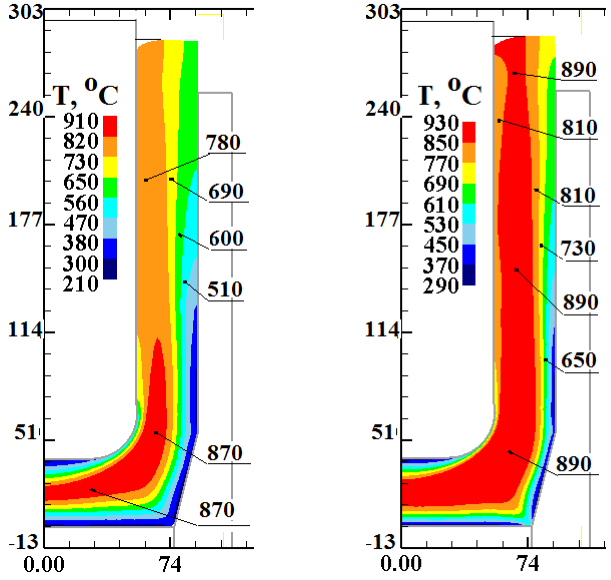


Рис. 3 - Залежності зусилля витягування від переміщення пуансона



а б

Рис. 4 – Розподіли температури у здеформованому металі в кінці процесів видавлювання: а – видавлювання із V=7 мм/сек, б - видавлювання із V=20 мм/сек

На рис. 5 наведені розподіли компонент напружень при максимальному значенні зусилля P_d для видавлюванні із V=20 мм/сек. Розподіл радіальних напружень σ_r зображений на рис. 5а. У донній частині ці напруження знаходяться в межах σ_r=-295÷-795 МПа. Величини осьових напружень σ_z у донній частині в зоні біля вісі симетрії збільшуються по абсолютній величині і досягають величини σ_z=-930 МПа, а в зоні переходу донної частини у стінку отримано σ_z=-240 МПа (рис. 5б). Розподіл тангенціальних напружень σ_θ (рис. 5в) практично однаковий з розподілом осьових напружень σ_z. На рис. 5г наведений розподіл нормальних напружень σ_n на поверхнях заготовки, які контактують з деформуючим інструментом. По напруженнях σ_n можна оцінити питомі зусилля на інструменті Найбільші величини питомих

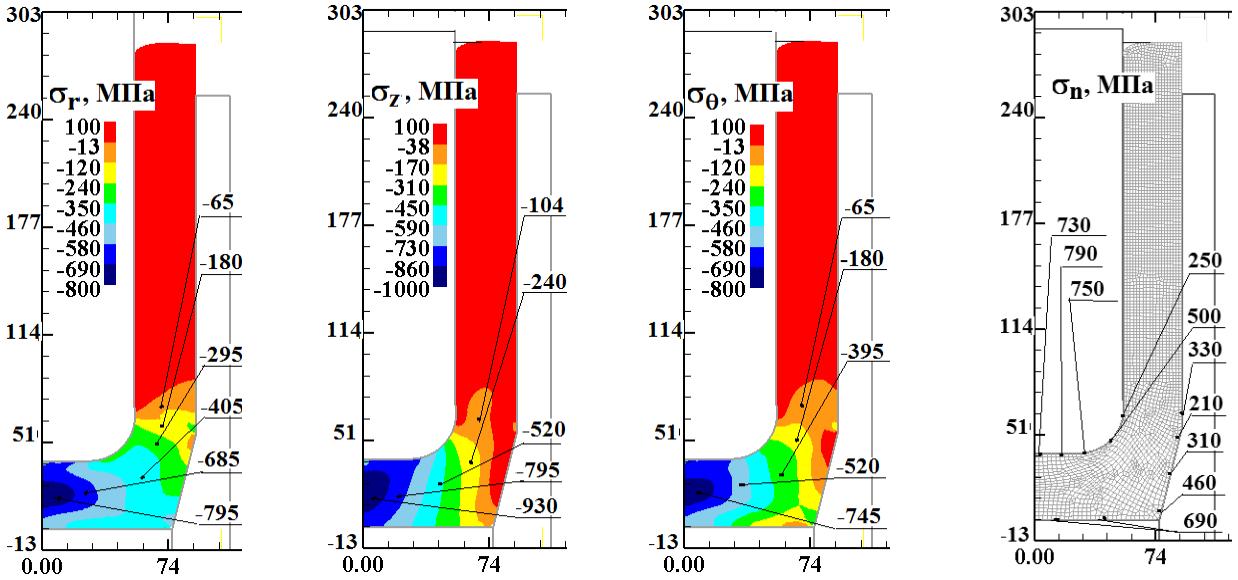


Рис. 5 - Розподіли напружень у здеформованій заготовці при максимальному зусиллі видавлювання із V=20 мм/сек: а – розподіл радіальних напружень σ_r, б – розподіл осьових напружень σ_z, в - розподіл тангенціальних напружень σ_θ, г - розподіл нормальних напружень σ_n

зусиль виникають на поверхні пуансона та знаходяться в межах σ_n=250÷790 МПа. На виштовхувачі отримано σ_n=690 МПа. На поверхні матриці найбільша величина цих напружень складає σ_n=460 МПа. Розподіли компонент кінцевих деформацій для видавлювання із V=20 мм/сек приведені на рис. 6. Розподіл радіальних деформацій ε_r показаний на рис. 6а. Стискаючі деформації ε_r виникають тільки на внутрішніх шарах металу стінки. Осьові розтягувальні деформацій ε_z виникають у стінці здеформованої заготовки (рис. 6б). Тангенціальні деформації ε_θ отримані розтягувальними по всьому об'єму здеформованого металу (рис. 6в). На рис. 6г наведений розподіл інтенсивності деформацій ε_i. По ширині стінки величини цих деформацій змінюються від ε_i=0,29 у зовнішніх шарах металу до ε_i=1,8 у внутрішніх шарах.

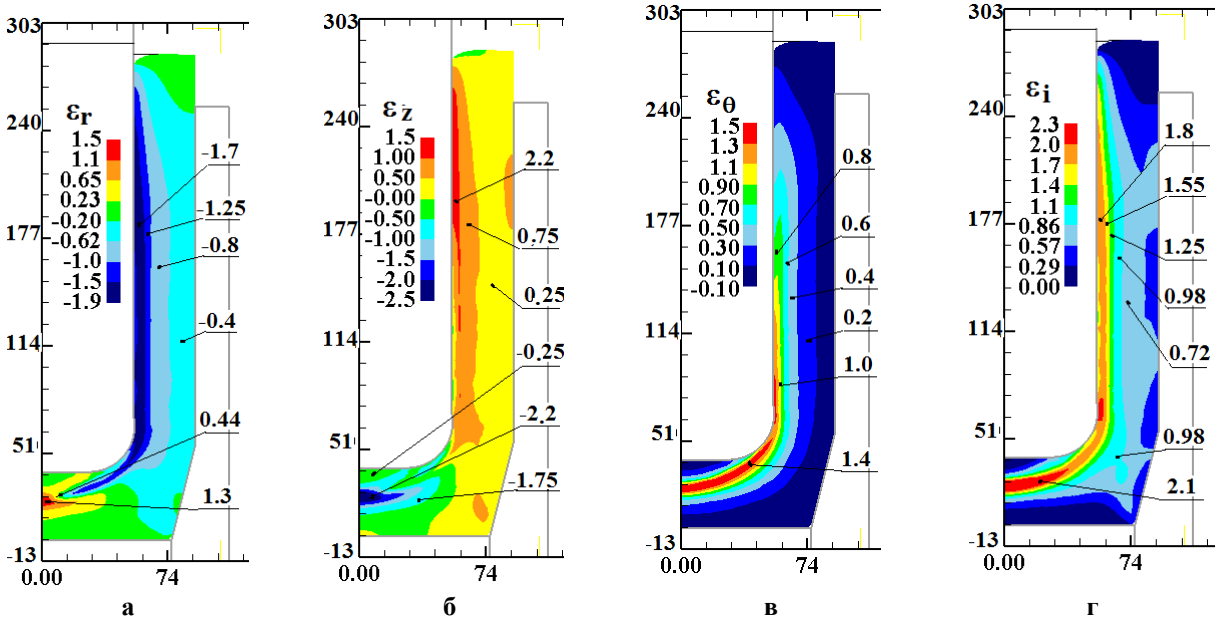


Рис. 6 - Розподіли компонент кінцевих деформацій для видавлювання із V=20 мм/сек: а – розподіл радіальних деформацій ε_r, б – розподіл осьових деформацій ε_z, в - розподіл тангенціальних деформацій ε_θ, г - розподіл інтенсивності деформацій ε_i