

УДК 621.983

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МЕТАЛУ ПРИ ХОЛОДНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ КОРОБЧАТИХ ВИРОБІВ З ПЛАСТИЧНОГО АЛЮМІНІЮ

Калюжний В.Л., Марчук К.Л.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: *Методом скінчених елементів розглянуте моделювання, створена математична модель та проведений аналіз холодного видавлювання коробчастого виробу з пластичного алюмінію Al-2024. Встановлена залежність зусилля деформування на пуансоні від його переміщення. Виявлений напружений стан здеформованої заготовки при максимальній величині зусилля штампування, кінцевий деформований стан. Наведений розподіл питомих зусиль на пуансоні, матриці та виштовхувачі при вказаній величині штампування. Показані розподіли компонент деформацій по об'єму виробу. Встановлені всі необхідні данні для проектування технології видавлювання: зусилля деформування для вибору обладнання, розподіл питомих зусиль для проектування штампового оснащення, напружено-деформований стан і кінцева форма та розміри виробу для оцінки якості виробу.*

Ключові слова: *холодне штампування; метод скінчених елементів; коробчастий виріб; зусилля видавлювання; напруження; деформації.*

Використання метода скінчених елементів для аналізу холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів по різних схемах формоутворення дозволяє встановити параметри видавлювання та скоротити час на проектування технології та розробку штампового оснащення без доопрацювання їх експериментальними роботами [1].

Метою роботи є встановлення за допомогою метода скінчених елементів параметрів холодного видавлювання коробчастого виробу із пластичного алюмінію.

Схеми зворотного видавлювання коробчастого виробу та робочого торця пуансона показані на рис. 1. На схемі (рис. 1а) ліворуч від вісі симетрії наведено положення на початку видавлювання, праворуч - в кінці видавлювання. Вихідна заготовка 1 із зовнішніми розмірами B і C встановлюється в матриці 2 на виштовхувачі 3. Зусилля видавлювання P створюється при опусканні пуансона 4 із швидкістю V_0 . В кінці видавлювання отримується виріб 5. Схема робочого торця пуансона зображена на рис. 1б. Торць розмірами b і c по всьому периметру має радіус заокруглення R , калібруючий поясок висотою l , кут нахилу α та зазор z . Радіус заокруглення в кутах - r .

Розрахунок параметрів проводили шляхом моделювання з використанням програми DEFORM. Для видавлювання використали квадратну заготовку з алюмінію Al-2024 розмірами $20 \times 20 \times 20$ мм. Розміри пуансона - $b=c=12$ мм, $R=l=2$ мм, $r=1$ мм, $\alpha=7^\circ$, $z=0,18$ мм.

Формоутворення з урахуванням теплового ефекту виконане з коефіцієнтом тертя $\mu=0,08$ та швидкості деформування $V_0=4$ мм/сек.

На рис. 2 приведені в розрізі розрахункові схеми, Схема на початку видавлювання показана на рис. 2а. Вихідна заготовка 1 розміщена в матриці 2 на виштовхувачі 3. Зусилля деформування прикладається до заготовки за допомогою пуансона 4. На рис. 2б зображена схема в кінці видавлювання з отриманням виробу 5. На рис. 3 наведена залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона. Зусилля зростає до 170 кН при переміщення пуансона 8 мм, а далі залишається практично постійним до кінця процесу. По максимальному зусиллі видавлювання та роботі деформації необхідно вибирати пресове обладнання.

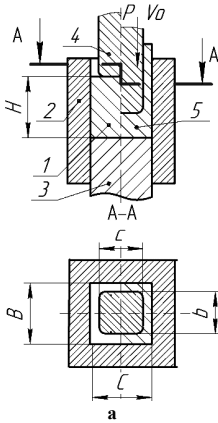


Рис. 1 - Схема видавлювання коробчастого виробу та робочого торця пуансона: а - схема видавлювання, б - схема торця пуансона

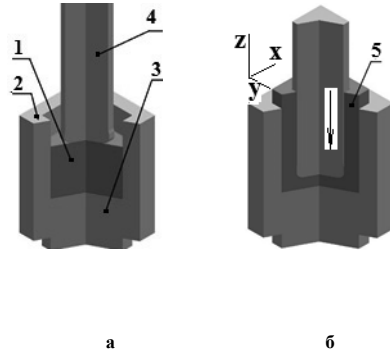
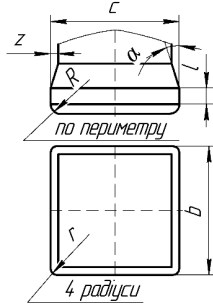


Рис. 2 - Розрахункові схеми: а - схема на початку видавлювання, б - положення в кінці видавлювання

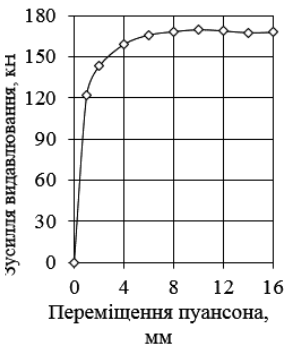


Рис. 4 - Залежність зусилля від переміщення пуансону

Питомі зусилля на контактуючих поверхнях заготовки з деформуючим інструментом для проектування штампового оснащення можна оцінити по розподілах нормальних напружень σ_n на цих поверхнях.

Розподіли напружень σ_n на деформуючому інструменті зображені на рис. 4. На пуансоні (рис. 4а) максимальне значення $\sigma_n=1300$ МПа отримане на віддалі 3,8 мм від вісі симетрії. Найбільша величина $\sigma_n=680$ МПа виникає на поверхні матриці напроти осередку деформації у здеформованій заготовці під пуансоном (рис. 4б). Біля вісі симетрії на виштовхувачі (рис. 4в) отримане найбільше значення нормального напруження ($\sigma_n=790$ МПа).

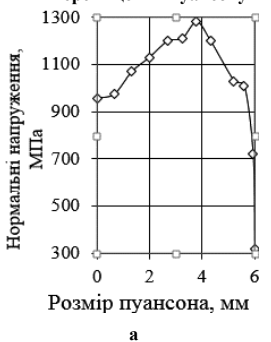


Рис. 4 - Розподіли нормальних напружень σ_n на деформуючому інструменті: а - на пуансоні, б - на матриці, в - на виштовхувачі

На рис. 5 показані в перерізі по вісі у площині $x - z$ розподіли компонент напружень у zdeформованій заготовці при максимальному значенні зусилля видавлювання. Напруження σ_x і σ_y (рис. 5а та 5б) мають практично однаковий розподіл в силу симетрії заготовки. По всьому об'ємі виникають стискаючі напруження, які знаходяться у межах $-210 \div -1180$ МПа. Розподіл напружень σ_z має інший вигляд (рис. 5в). У донній частині заготовки виникають стискаючі напруження у межах $\sigma_z = -880 \div -11790$ МПа. В стінці zdeформованої заготовки, зі сторони порожнини отримані розтягувальні напруження, які досягають величини $\sigma_z = 150$ МПа. По розподілу інтенсивності напружень можна визначити розповсюдження осередку деформації в заготовці під пуансоном (рис. 5г). На переході в усталену стадію процесу видавлювання осередок деформації розповсюджується на всю висоту донної частини zdeформованої заготовки. Висота осередку деформації приблизно дорівнює половині розміру пуансона. При таких значеннях напружень σ_x і σ_y матрицю для видавлювання необхідно використовувати без бандажів.

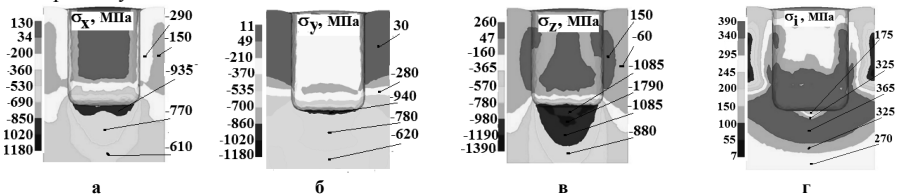


Рис. 5 - Розподіли компонент напружень у zdeформованій заготовці при максимальній величині зусилля видавлювання: а – розподіл напружень σ_x , б – розподіл напружень σ_y , в - розподіл тангенціальних напружень σ_z , г - розподіл інтенсивності напружень σ

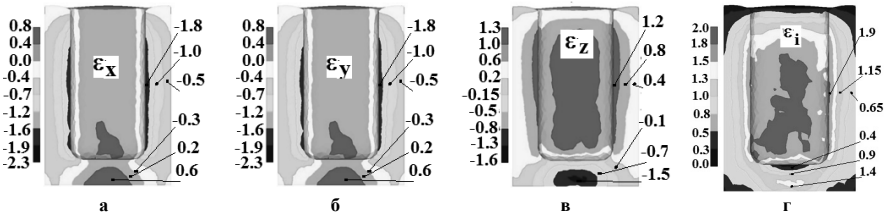


Рис. 6 - Розподіли компонент деформацій у zdeформованій заготовці: а – розподіл деформацій ϵ_x , б – розподіл деформацій ϵ_y , в – розподіл деформацій ϵ_z , г – розподіл інтенсивності деформацій ϵ

Розподіли компонент кінцевих деформацій зображені на рис. 6. В силу симетрії вигляди розподілів компонент деформацій ϵ_x і ϵ_y (рис. 6а і 6б) однакові. У донній частині zdeформованої заготовки виникають розтягувальні деформації, які досягають величини $\epsilon_x = \epsilon_y = 0.6$. По ширині стінки ці деформації стають стискаючими та знаходяться у межах $\epsilon_x = \epsilon_y = -1,8 \div -0,5$. Деформації ϵ_z по висоті донної частини zdeформованої заготовки є стискаючими та отримані у межах $\epsilon_z = -0,3 \div -1,5$ (рис. 6в). По ширині стінки ці деформації розтягувальні. На шарах металу зі сторони порожнини отримано $\epsilon_z = 1,2$, а на зовнішніх шарах - $\epsilon_z = 0,4$.

Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i (рис. 6г). Найбільше пропрацювання відбувається по ширині стінки zdeформованої заготовки, в якій величини інтенсивності деформацій змінюються від $\epsilon_i = 1,9$ на шарах металу зі сторони порожнини до $\epsilon_i = 0,65$ в шарах металу біля зовнішньої поверхні zdeформованої заготовки.

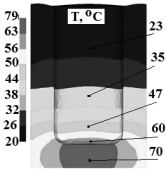


Рис. 7 – Розподіл температури у здеформованій заготовці

вказаної заготовки, в якій температура металу підвищується до $T=70^{\circ}\text{C}$. У верхній частині заготовки має місце незначне підвищення температури.

Висновки. З використанням метода скінченних елементів створена математична модель та проведений аналіз холодного зворотного видавлювання коробчастого виробу із пластичного алюмінію. Встановлені параметри для проектування технології та штампового оснащення: зусилля - для вибору пресового обладнання, розподіл питомих на деформуючому інструменті – для проектування оснащення, кінцеві форма і розміри здеформованої заготовки з розподілом інтенсивності деформацій – для оцінки якості виробу.

Stress-deformed steel of metal in cold woodworking of corborated articles of plastic aluminum

Kaljuzhny V.L., Marchuk K.L.

Abstract. The mathematical model was created by the method of finite elements and an analysis of the cold extrusion of the box-type product made of plastic aluminum Al-2024 was carried out. The dependence of the deformation effort on the punch from its displacement is established. The stressed state of deformed workpiece with the maximum value of stamping force, final deformed state is revealed. The distribution of the specific forces on the punch, the matrix and the pusher at the specified stamping value is given. The distributions of the deformation component in the volume of the product are shown. All necessary data for designing extrusion technology are established: deformation efforts for the selection of equipment, distribution of specific efforts for the design of die-casting equipment, stress-strain state and final form and size of the product for the assessment of product quality.

Keywords: cold stamping, finite element method, box product, extrusion force, stress, deformation.

Напряженно-деформированное состояние металла при холодном выдавливании коробчатых изделий из пластического алюминия

Калюжный В.Л., Марчук К.Л.

Аннотация: Методом конечных элементов рассмотрено моделирование, создана математическая модель и проведен анализ холодного выдавливания коробчатого изделия из пластического алюминия Al-2024. Установлена зависимость усилия деформирования на пуансоне от его перемещения. Обнаружено напряженное состояние деформированной заготовки при максимальной величине усилия штамповки, конечное деформированное состояние. Приведено распределение удельных усилий на пуансоне, матрицы и выталкивателя при указанной величине штамповки. Показаны распределения компонент деформаций по объему изделия. Установлены все необходимые данные для проектирования технологии выдавливания: усилия деформирования для выбора оборудования, распределение удельных усилий для проектирования штамповой оснастки, напряженно-деформированное состояние и конечная форма с размерами изделия для оценки качества изделия.

Ключевые слова: холодная штамповка, метод конечных элементов, коробчатое изделие, усилия выдавливания, напряжения, деформации.

Список літератури

1. Калюжный В.Л. Аналіз схем холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів / В.Л. Калюжный, А.М. Потятиник // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк: НТУ, 2017. - № 59. – С. 137-143.