

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМ ПРОТИТИСКОМ ПОРОЖНИН ШТАМПІВ ІЗ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

Методом конечных элементов проведено математическое моделирование холодного выдавливания полости матрицы из стали P6M5 в условиях действия дифференцированного противодействия на свободную поверхность заготовки. Определены усилия выдавливания, распределение удельного усилия на деформирующем инструменте, напряжено-деформированное состояние, ресурс использования пластичности материала в объеме заготовки после деформирования и конечные размеры выдавленной полости. Проведены эксперименты по выдавливанию полости.

The mathematical modeling of cold forging of die cavity made of steel P6M5 in conditions of differentiated back pressure was carried out by finite element method. The loads of forging, the distribution of specific loads on tool, mode of deformation, resource ductility of material in the volume of workpiece after deformation and finite dimensions of forged cavity were determined. The experiment of the forging of cavity was carried out.

Вступ. Сучасний розвиток багатьох галузей промисловості, таких як, машинобудування, приладобудування та інші, вимагають більш широкого застосування високоточних та з підвищеними експлуатаційними властивостями виробів із штампових та інструментальних сталей. Для підвищення надійності і довговічності деформуючого інструменту штампов для гарячого об'ємного і листового штампування, пресових та ливарних форм при виготовленні таких деталей використовують холодне об'ємне штампування (ХОШ). Ефективність ХОШ для виготовлення деталей штампов і прес-форм приведена в [1]. Однак із-за низької пластичності штампових і інструментальних сталей традиційне холодне видавлювання не забезпечує великих глибин вдавлювання пуансона при отриманні порожнистих виробів, а також має місце незаповнення гравюри порожнини складної геометричної форми. Для підвищення пластичності сталей при холодному формоутворенні виробів використовують схеми видавлювання зі збільшеним гідростатичним тиском в осередку деформації, наприклад за допомогою прикладення протитиску рідиною під високим тиском. Ефективність дії рідини під високим тиском на пластичність при механічних випробуваннях зразків і в процесах прямого видавлювання показана в роботах [2-5]. Отримання порожнин штампов і прес-форм холодним видавлюванням з протитиском дозволяє збільшити глибину вдавлювання за один перехід та підвищити стійкість майстер-пуансонів [6, 7].

Мета роботи та постановка задачі. Метою роботи є визначення методом скінченних елементів (МСЕ) параметрів холодного видавлювання з диференційованим протитиском порожнин штампов із інструментальних сталей.

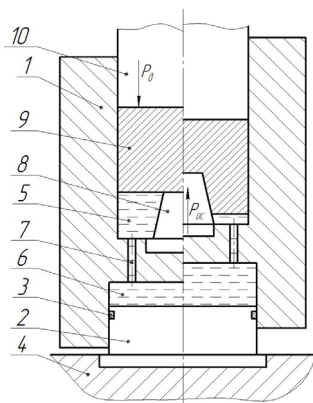


Рис. 1. Схема видавлювання порожнини з накладенням диференційованого протитиску

Схема видавлювання порожнини з накладенням диференційованого протитиску показана на рис. 1. Вихідний стан перед видавлюванням показаний зліва від вісі симетрії. Бандажований контейнер 1 встановлений з можливістю переміщення на опорі 2 з ущільненням 3. Опора 2 закріплена на нижній плиті 4 штампу. Контейнер має два канали різного діаметру: верхній 5 і нижній 6, які з'єднані отворами 7 для вільного проходу рідини, що створює протитиск. В канал 5 встановлений і закріплений деформуючий пуансон 8. В канали 5 і 6 залита робоча рідина і розміщена заготовка 9. Робота штампу при видавлюванні (праворуч від вісі симетрії). При прикладанні зусилля через пуансон 10 на заготовку 9 навантаження через деформуючий пуансон 8 і контейнер 1 витримує рідина в каналі 6. В ній виникає тиск величиною q , причому тиск такої величини буде і в каналі 5. Запобігання витіканню рідини з каналу 5 забезпечує заготовка 9, а з каналу 6 – ущільнення 3. Від тиску рідини виникає осьове зусилля: $P_{oc} = q(F_6 - F_5)$, де F_6 – площа каналу 6, а F_5 – площа каналу 5. Дія зусилля направлена назустріч зусиллю P_0 , і зростає при збільшенні P_0 . Коли зусилля P_{oc} досягне величини, яка необхідна для деформування заготовки 9 пуансоном 10, починається видавлювання порожнини в заготовці. При видавлюванні метал стінки порожнини витісняє рідина з каналу 5 в канал 6, і контейнер 1 піднімається назустріч пуансону 10 відносно опори 2 з ущільненням 3.

Під час видавлювання на поверхню заготовки діє протитиск рідини q , що збільшує пластичність металу. Причому величина протитиску диференційована: чим більше метал зміцнюється і зменшується пластичність, тим

більший опір деформуванню і зростає зусилля видавлювання P_0 , яке автоматично збільшує тиск рідини q для підтримання пластичності на необхідному рівні для деформування без руйнування по мірі вдавлення пуансона в заготовку. Таким чином, при видавлюванні проходить саморегулювання величини протитиску q та об'єму рідини в каналах 5 і 6. Виштовхування заготовки після видавлювання з контейнера виконується другим ходом преса. Шляхом прикладання навантаження на контейнер 1 він зміщується вниз, рідина перетікає з каналу 6 в канал 5 і виштовхує заготовку із контейнера 1, оскільки деформуючий пуансон 8 закріплений до контейнера. Крім названих, особливості схеми в тому, що при видавлюванні порожнин на деформуючий пуансон також діє тиск рідини і сприяє збільшенню його стійкості.

Задача аналізу видавлювання порожнин з протитиском вирішується шляхом розроблення скінченно-елементних моделей формоутворення порожнин та проведення розрахунків. Використаний пакет програм, який створено на кафедрі МПМ та РП НТУУ «КПІ». Пакет дозволяє визначити пружно-пластичний стан металу при деформуванні з вихідного стану заготовки до отримання кінцевої форми виробу з урахуванням основних параметрів, які впливають на холодне видавлювання та розвантаження після пластичної деформації, що дозволяє визначити кінцеві розміри заготовки після видавлювання.

Математичне моделювання.

Процес видавлювання порожнини матриці в заготовці із сталі Р6М5 розглядали як вісесиметричну задачу. Властивості металу вихідної заготовки у відпаленому стані: модуль Юнга $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона 0,33, умовна межа течії $\sigma_{0,2}=300$ МПа. Діаграму істинних напружень $\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}, T)$ апроксимували ступеневою залежністю (тут σ_s – істинне напруження, ε_i – інтенсивність деформації, $\dot{\varepsilon}$ – швидкість деформації, T – температура). Для врахування тертя на контактуючих поверхнях задавали коефіцієнт тертя $\mu=0,08$. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким.

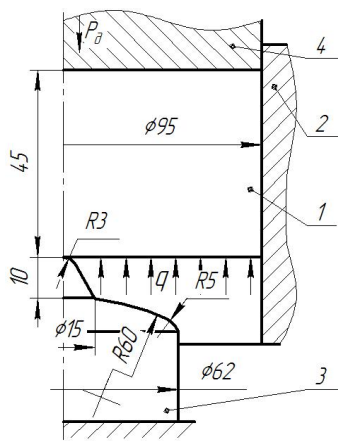


Рис. 2. Розрахункова схема видавлювання порожнини матриці в умовах дії протитиску на вільну поверхню заготовки

На рис. 2 наведена розрахункова схема видавлювання порожнини матриці в умовах дії диференційованого протитиску q на вільну поверхню заготовки з урахуванням зменшення її при видавлюванні. Заготовка 1 встановлюється в контейнер 2 на деформуючий пуансон 3. Зусилля видавлювання P_0 прикладається за допомогою пуансона 4. Моделювання розподіляли на певну кількість кроків навантаження. Навантаження задавали у вигляді покрокових переміщень $u_0=0,2$ мм пуансона 4. Геометрія деформуючого пуансона відповідає необхідному профілю деталі. Величина протитиску в процесі видавлювання змінна і залежить від зусилля P_0 . Розглядали два варіанта розрахунку: видавлювання без протитиску ($q=0$) і з протитиском.

Розрахункова залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона показана на рис. 3. Максимальне значення зусилля видавлювання в кінці робочого ходу складо 6911 кН.

Зміна величини протитиску q від переміщення пуансона показана на рис. 4. Максимальне значення протитиску в кінці видавлювання складо 650 МПа. Дія протитиску залежить від зусилля видавлювання і пропорційно зростає зусиллю видавлювання, що призводить до зменшення навантаження на деформуючий інструмент, а також зменшує енергозатрати в порівнянні з прикладанням постійного протитиску.

По результатам чисельного експерименту було визначено кінцеву геометричну форму заготовки, напружено-деформований стан та ступінь використання ресурсу пластичності ψ здеформованого металу, який дає можливість прогнозувати ймовірність отримання порожнини без руйнування.

Розподіл ψ показано на рис. 5: при видавлювання традиційним способом (без протитиску) (рис. 5, а) та при видавлюванні з прикладанням диференційованого протитиску до вільної поверхні заготовки (рис. 5, б). При видавлюванні без протитиску у поверхневих шарах в області конусу відбувається інтенсивне вичерпання ресурсу пластичності і досягає значення $\psi=1$, що є ознакою руйнування заготовки. При видавлюванні з протитиском (рис. 5, б) максимальне значення $\psi=0,8$.

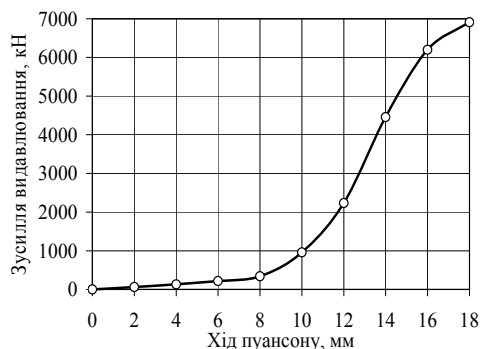


Рис. 3. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона

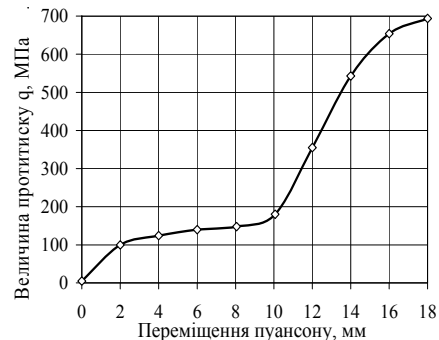


Рис. 4. Залежність протитиску від переміщення пуансона

Розподіл інтенсивності напружень σ_i (рис. 5, б), визначає розповсюдження осередку деформації та величину зміцнення металу в zdeформованій заготовці. Осередок деформації розповсюджується на всю висоту по висі заготовки. За рахунок зміцнення zdeформованого металу $\sigma_i = 670$ МПа на нижній границі осередку деформації і $\sigma_i = 1500$ МПа на верхній границі.

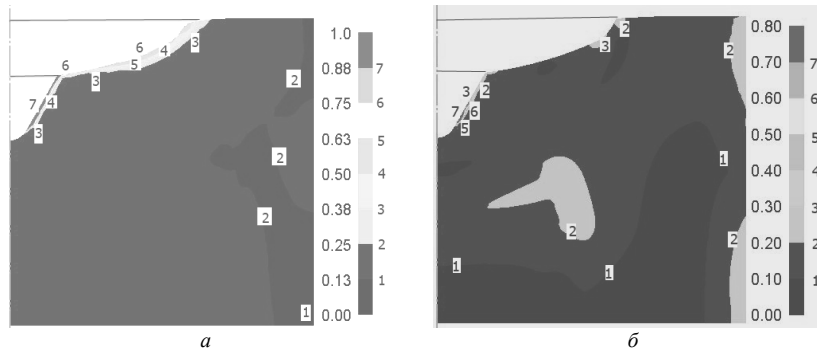


Рис. 5. Розподіл ресурсу пластичності ψ по об'єму zdeформованого металу: а) при видавлюванні без протитиску; б) при видавлюванні з прикладанням диференційованого протитиску до вільної поверхні заготовки

На рис. 6 показано розподіл інтенсивності деформації ϵ_i та інтенсивності напружень σ_i по об'єму zdeформованої заготовки з прикладанням протитиску. По розподілу інтенсивності деформації ϵ_i можна оцінити пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією. Інтенсивне пропрацювання розповсюджується на третину заготовки по висоті. Тим самим створюється відповідна макроструктура в заготовці, для підвищення стійкості порожнин при експлуатації.

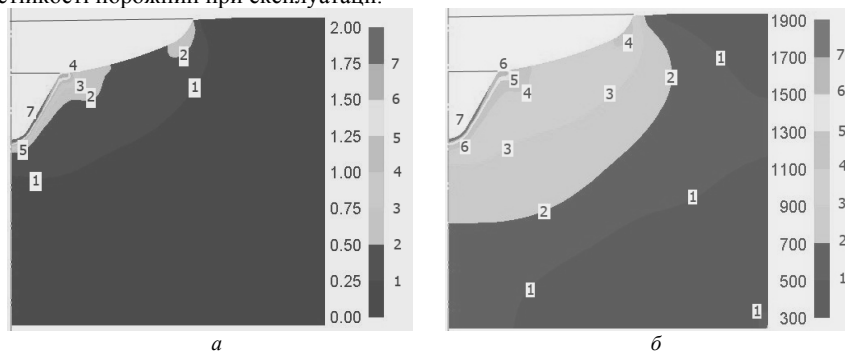


Рис. 6. Розподіл інтенсивності деформації ϵ_i (а) та розподіл інтенсивності напружень σ_i (б) по об'єму zdeформованої заготовки

Для проектування штампового оснащення для вдавлення необхідно знати величини питомих зусиль на деформуючому інструменті. Величини питомих зусиль можна визначити по розподілу нормальних напружень на поверхні заготовки, що контактує з інструментом.

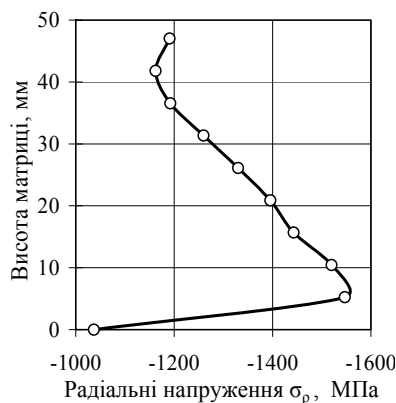


Рис. 7. Розподіл радіальних напружень σ_r в стінці матриці

Розподіл радіальних напружень σ_r по висоті поверхні заготовки, яка контактує з контейнером показаний на рис. 7. Максимальне значення радіальних напружень по абсолютній величині на стінці матриці склало 1550 МПа. На рис. 8 наведений розподіл осьових напружень σ_z по радіусу поверхні деформуючого пуансона. З характеру розподілу та геометрії пуансону (див. рис. 2) видно, що на більшості поверхні пуансона діють напруження $\sigma_z = 2700$ МПа. Однак схема видавлювання, завдяки дії протитиску на поверхню пуансона, забезпечує їх раціональну стійкість. Розподіл осьових напружень σ_z на пуансоні показано на рис. 9, де максимальне значення по абсолютній величині на висі виштовхувала склало 1900 МПа. Розподіл напружень на робочій поверхні інструменту дає можливість вибрати матеріал для пуансонів та кількість бандажів матриці.

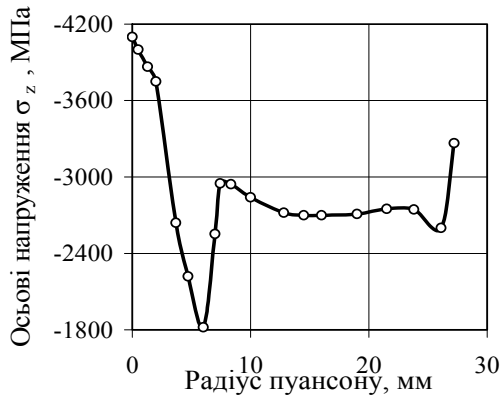


Рис. 8. Розподіл осьових напружень σ_z на деформуючому пуансоні

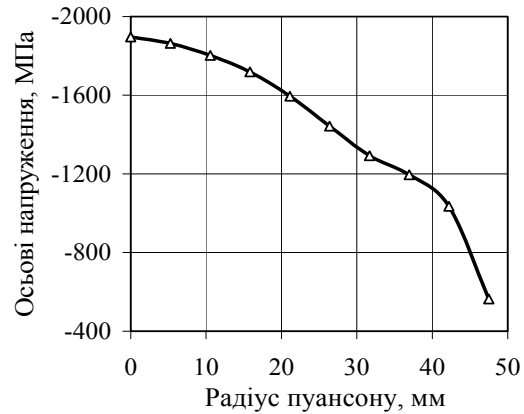


Рис. 9. Розподіл осьових напружень σ_z на пуансоні

Було проведено експериментальне дослідження видавлювання порожнин матриць в умовах дії протитиску на гідравлічному пресі ПО443 зусиллям 20 МН. На рис. 10 показано деформуючий пуансон. Заготовки порожнин матриць із сталі Р6М5, які отримані холодним видавлюванням з протитиском показано на рис 11.



Рис. 10. Деформуючий пуансон для видавлювання порожнин



Рис. 11. Заготовки порожнин матриць із сталі Р6М5, які отримані видавлюванням

Висновок.

Методом скінченних елементів проведено моделювання холодного видавлювання порожнин матриць із сталі Р6М5 в умовах дії диференційованого протитиску на вільну поверхню заготовки. Визначені зусилля видавлювання, точний розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, кінцева геометрія заготовки, інтенсивності деформацій і напружень по об'єму заготовки. Встановлені області інтенсивного пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією в заготовці для підвищення стійкості матриць, зміцнення zdeформованого металу. Проведено експериментальні роботи по видавлюванню з протитиском порожнин матриць із сталі Р6М5.

Список літератури

1. Хыбеяги А.И. Выдавливание точных заготовок деталей штампов и пресс-форм // Хыбеяги А.И, Лернер П.С.; М.: Машиностроение, 1986. – 150 с.
2. Береснев Б. И. Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях // Береснев Б. И., Л. Ф. Верещагин, Ю. Н. Рябинин и др.; М.: Изд-во АН УССР, 1960. – 80с.
3. Пью Х.Л. Механические свойства материалов под высоким давлением // Под ред. Пью Х.Л. Том 1; М.: Изд-во «Мир», 1973. – 296.
4. Уральский В. И. Деформации металлов жидкостью высокого давления // Уральский В. И., Плахотин В. С., Шефтель Н. И. и др.; М.: Металлургия, 1976. – 423с.
5. Белошенко В. А. Теория и практика гидроэкструзии.// Белошенко В. А., Варюхин В.Н, Спусканюк В.З.; К.: Наукова думка, 2007. – 246 с.
6. Черный Ю. Ф. О некоторых способах и устройствах для холодного гидростатического выдавливания формообразующих полостей штампов и пресс-форм. // Черный Ю. Ф., Шмальц П. Е., Шмальц Н. А. и др.; Физика и техника высоких давлений. Вып. 9. 1982р. С.14-18.
7. Каложний В. Л. Штамп для виготовлення порожнин в заготовках з важкодеформуючих матеріалів: пат. України №40973: МПК В21J13/02 // Каложний В. Л., Каложний О. В., Піманов В. В., Паляничко С. М.; Заявник і патентовласник НТУУ „КПІ”; Опубл. 27.04.2009, бюл. № 8.