

В.М. Горностай, аспір.
В.Л. Калюжний, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України "КПІ"

ВПЛИВ КОНТАКТНОГО ТЕРТЯ НА ПРОЦЕС ЗВОРОТНОГО ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ СТАКАНІВ

Розглянуто вплив контактної тертя на силові режими, зусилля, питомі зусилля та якість виробів при холодному зворотному видавлюванні стаканів.

На процеси холодного видавлювання стаканів великий вплив мають умови на контактній поверхні. Для аналізу впливу контактної тертя на процес холодного видавлювання деталей типу стакан використано ефективний чисельний метод для розрахунків пружно-пластичного деформування металів – метод скінчених елементів (МСЕ), який дозволяє створювати математичні моделі процесів деформування максимально наближених до реальних умов формозмінення. Для виявлення силових режимів, напружено-деформованого стану, ступеня використання ресурсу пластичності та фактичних розмірів осередку деформації був проведений розрахунковий аналіз зворотного видавлювання стаканів конусним пуансоном з ступенем деформування 50 % МСЕ способом початкових напружень. Такий підхід дозволяє починати аналіз деформування, коли в заготовці відсутні напруження та деформації, а саме, вивчати неусталену стадію деформування і перехід в усталену стадію процесу.

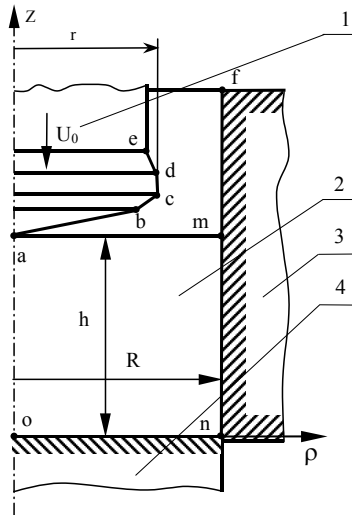


Рис. 1. Розрахункова схема видавлювання

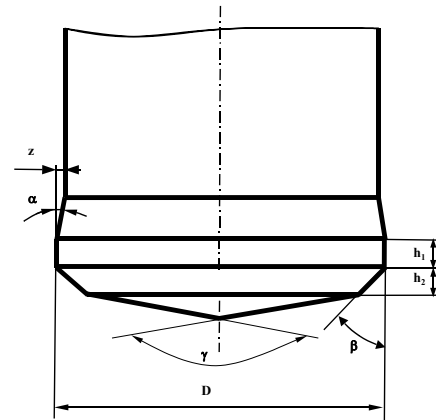


Рис. 2. Геометрія робочого торця пуансона

На рис. 1 показана розрахункова схема вісесиметричного процесу зворотного видавлювання (1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – матриця, 4 – виштовхувач). Суцільну заготовку розділяли на квадратичні скінчені елементи з вісьмома вузлами. Для врахування геометричної та фізичної нелінійності процес деформування розподіляли на певну кількість кроків, на яких розраховували приращення напружень, деформацій, переміщень. Результуюче значення вказаних величин отримували шляхом додавання приращень, які були отримані на кожному кроці навантаження. Врахування кінематичних та статичних граничних умов проводили таким чином: на поверхнях oa , nf і cd – переміщення $U_r = 0$; on – $U_z = 0$. Силу взаємодію пуансона заготовкою моделювали у вигляді переміщення поверхні пуансона $abcd$ на кожному кроці навантаження зі зміщенням $-U_z = U_0$. Тертя на поверхнях nf , cd розраховувалося за формулою (1), а ab і bc – за формулою (2), (дотичне напруження τ прикладали за напрямком протилежним переміщенню вузлової точки на поверхні, що контактує):

$$\tau = \mu \cdot \sigma_r, \tag{1}$$

де μ – коефіцієнт тертя;

$$\tau = \mu \cdot \sigma_n, \tag{2}$$

$$\text{де } \sigma_n = \sigma_z \cdot \cos \alpha + \sigma_r \cdot \sin \alpha. \tag{3}$$

Розглядали один тип робочого торця пуансона, який використовують на практиці для традиційного зворотного видавлювання стаканів (рис. 2). Це – конусний пуансон з розмірами: $D = 0,0283$ м, $h_1 = h_2 = 0,002$ м, $z = 0,0001$ м, $\gamma = 166^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $\alpha = 5-7^\circ$. Матеріал заготовки – відпалена сталь 20. Властивості

відпаленого матеріалу: межа текучості $\sigma_{0,2} = 260$ МПа; модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$. Діаграму дійсних напружень [1] апроксимували залежністю (4):

$$\sigma_S = \sigma_{0,2} + 67\varepsilon^{0,4} \quad (4)$$

Розміри заготовки: висота $h = 75 \times 10^{-3}$ м, $R = 40 \times 10^{-3}$ м. Для визначення ступеня використання ресурсу пластичності металу, що деформується, використовували експериментальну діаграму руйнування сталі 20, яку апроксимували залежністю (5) [2]:

$$\lambda\rho = \frac{8 \cdot e^{(-\eta)}}{4 - \eta(4 - 2e)}, \quad (5)$$

де $\eta = (\sigma_\rho + \sigma_z + \sigma_\theta) / \sigma_i \cdot \sqrt{3}$ – коефіцієнт жорсткості схеми напруженого стану.

Розрахунковий аналіз проводили для видавлювання з коефіцієнтом тертя на матриці і пуансоні $\mu = 0; 0,07; 0,15$ та $0,2$. В процесі розрахункового аналізу видавлювання проводили перевизначення кінематичних і статичних граничних умов. У вихідному положенні конусний пуансон торкався заготовки в точці a (рис. 1). На кожному кроці навантаження поверхня $abcd$ переміщувалась за напрямком осі z на $U_0 = -2 \times 10^{-6}$ м. За мірою переміщення пуансона заготовка починає деформуватися і в контакт з поверхнею пуансона будуть входити вузли сторін кінцевих елементів, на які розділена поверхня am заготовки. Тоді їм накладали відповідні кінематичні і статичні граничні умови. На рис. 3 представлена розрахункова залежність зусилля деформування від переміщення пуансона на неусталеній і переході в усталену стадію процесу. Для перевірки розрахункових результатів зусилля деформування було проведено експериментальне дослідження холодного видавлювання стаканів з вказаного матеріалу зі змаченням. Для проведення експериментів використовувався гідравлічний прес ДБ 2436 із зусиллям 4000 КН з швидкістю робочого ходу $0,004$ м/с. Прутки зі сталі 20 підлягали відпалюванню в режимі [3]: нагрів – 740° – 760° С, витримка – 3 години, охолодження з піччю. З відпалених прутків на токарному верстаті були нарізані заготовки названого вище розміру. На заготовки наносили цинко-кадмієве покриття електrolітичним шляхом. Склад покриття (74 % – кадмій та 26 % – цинк) та товщину ($0,02 \times 10^{-3}$ м) вибирали згідно з рекомендаціями Н.П. Барикіна [4]. Вказане покриття забезпечує стабільний коефіцієнт тертя $\mu = 0,07$ при осадці зразків з різними ступенями деформації. Значення зусилля визначали за допомогою месдози, яка знаходилась над пуансоном. Експериментальне значення зусилля на переході в усталену стадію склало 1150 КН. Розрахункове значення зусилля при видавлюванні з вказаним коефіцієнтом тертя склало 1110 КН.

Розподіл відносних напружень $\sigma_\rho / \sigma_{0,2}$ на матриці представлено на рис. 4. З нього видно, що пік відносних напружень спостерігається навпроти зони деформування (осередку деформації), при чому, при деформуванні з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,2$ він набуває максимального значення $5,73$. Мінімальне пікове відносне напруження одержане при деформуванні без тертя та дорівнює $3,45$. Після чітко вираженого піку відносне питоме зусилля спадає до мінімального значення, де закінчується контакт матриці зі стінкою заготовки. Даний розподіл дозволяє розраховувати конструкцію матриці (кількість бандажів) для видавлювання стаканів.

На рис. 5 показано розподіл відносних напружень $\sigma_z / \sigma_{0,2}$ на виштовхувачі. Максимальне відносне напруження спостерігається при деформуванні коефіцієнтом тертя $\mu = 0,2$ і дорівнює $4,56$. Мінімальне відносне напруження при деформуванні без тертя – $3,20$. Розподіл відносних напружень на виштовхувачі має рівномірний характер і дозволяє розраховувати виштовхувач на міцність.

Розподіл відносних напружень $\sigma_z / \sigma_{0,2}$ на пуансоні наведено на рис. 6. Проводячи його аналіз необхідно відмітити, що при деформуванні з коефіцієнтами тертя $\mu = 0; 0,07$ та $0,15$ спостерігається один пік відносних питомих зусиль, який спостерігається в місці переходу конічної частини у фаску під кутом $\beta = 45^\circ$. При деформуванні з коефіцієнтами тертя $\mu = 0,2$ максимальне значення відносного напруження $\sigma_z / \sigma_{0,2}$ спостерігається біля осі пуансона, а далі воно зменшується до мінімального значення. Даний розподіл також дозволяє розраховувати пуансон на міцність.

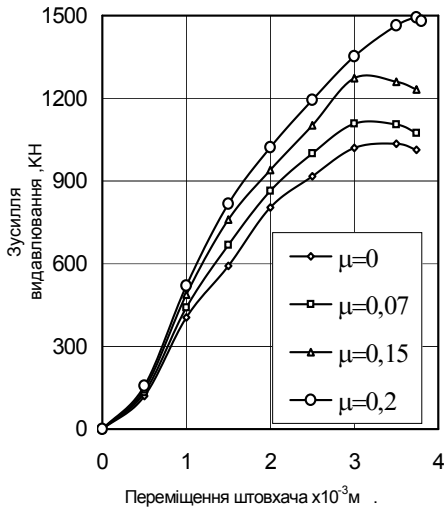


Рис. 3. Залежність зусилля деформування від переміщення штовхача

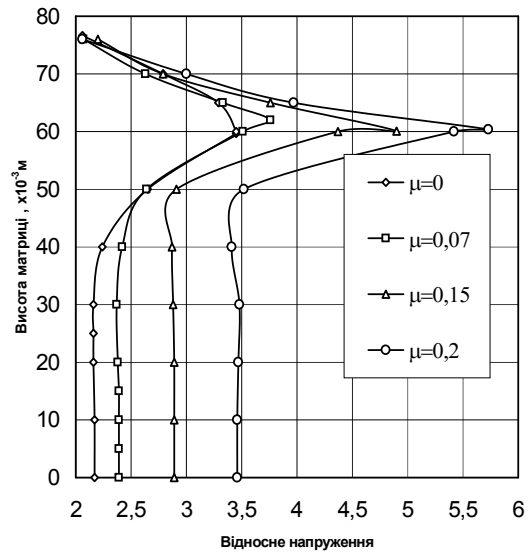


Рис. 4. Розподіл відносних напружень σ_r/σ_{02} на матриці

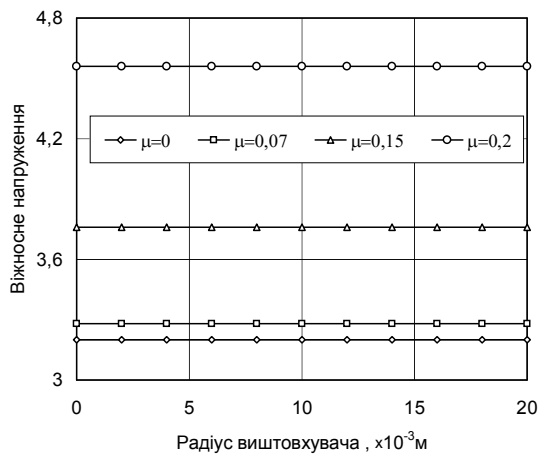


Рис. 5. Розподіл відносних питомих напружень σ_z/σ_{02} на виштовхувачі

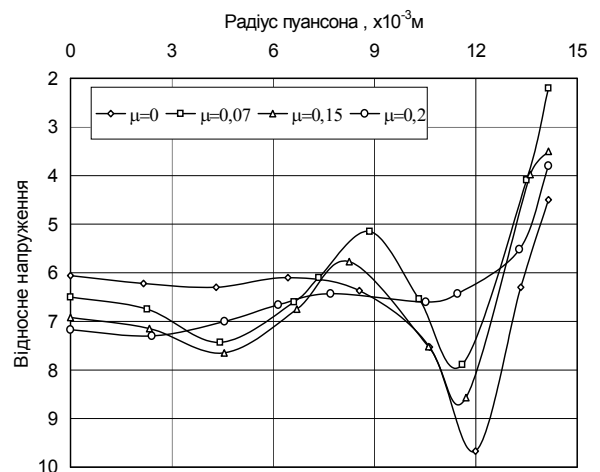


Рис. 6. Розподіл відносних напружень σ_z/σ_{02} на пуансоні

Якість видавлених стаканів оцінювали за відносним коефіцієнтом зміцнення деформованого металу стінки стакану $\sigma_s/\sigma_{0,2}$, ступеня використання ресурсу пластичності матеріалу, що деформується, геометрії торця стінки і висоти осередку деформації. Залежність коефіцієнту зміцнення $\sigma_s/\sigma_{0,2}$ деформованого матеріалу стінки стакану показано на рис. 7. З нього видно, що з збільшенням коефіцієнта тертя коефіцієнт зміцнення $\sigma_s/\sigma_{0,2}$ зменшується.

На рис. 8 показані геометрії торця стінки стаканів при видавлюванні конусним пуансоном в різних умовах тертя. Порівнюючи їх, видно, що найменшу утяжину має стінка стакану, видавлена з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,2$.

Для визначення фізико-механічних властивостей матеріалу стінки стаканів, що були отримані експериментально, остання підлягала розрізу у верхній зоні. В цій зоні вирізали по три зразки для дослідження на розтяг згідно з ГОСТом 1497-73 на дослідній машині Instron.

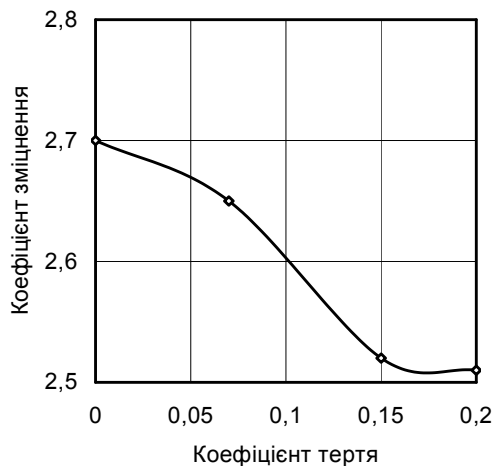


Рис. 7. Коефіцієнт зміцнення

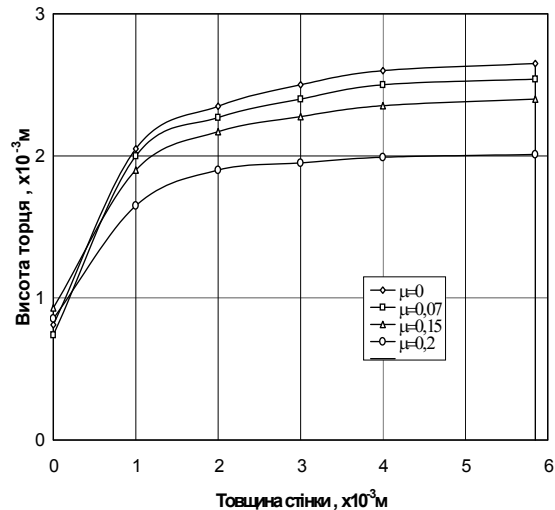


Рис. 8. Геометрія торця стінки стакану

За результатами фізико-механічних випробувань зразків, вирізаних з стінок стаканів, був визначений відносний коефіцієнт зміцнення σ_s/σ_{02} деформованого металу. Для стаканів, отриманих конусним пуансоном з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,07$ він мав значення 2,75, розбіжність з теоретичним значенням складає 0,1. Проведені розрахунки показали, що при збільшенні коефіцієнта тертя збільшується відносний гідростатичний тиск σ_{cp}/σ_{02} в зазорі між матрицею і пуансоном (в стінці стакану). При $\mu = 0$ він складає - 0,15, а при $\mu = 0,2$ - -1,15. В зв'язку з цим максимальний ступінь використання ресурсу пластичності деформованого матеріалу на внутрішніх шарах стінки стакану спостерігається при деформуванні з коефіцієнтом тертя $\mu = 0$ та складає 0,4, а мінімальна - 0,34 при $\mu = 0,2$.

Висота пластичного осередку під пуансоном має максимальне значення на осі заготовки і набуває максимального значення - 0,0175 м при $\mu = 0$ та зменшується до висоти 0,0115 м при $\mu = 0,2$. Висоту пластичного осередку визначали при досягненні інтенсивності деформації $\epsilon_i = 0,03$. Далі при досягненні пластичним осередком виштовхувача слід очікувати збільшення зусилля деформування на кінцевій стадії процесу видавлювання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. В.А. Кроха. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с.
3. Холодная объемная штамповка: Справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1973. – 495 с.
4. Барыкин Н.П. Процессы деформации в условиях сверхпластичности // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – № 1. – С. 9–12.

ГОРНОСТАЙ Вадим Миколайович – аспірант кафедри “Обробки металів тиском” Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- холодне традиційне видавлювання та в умовах високого гідростатичного тиску;
- математичне моделювання процесів холодного видавлювання.

КАЛЮЖНИЙ Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри “Обробки металів тиском” Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- холодне традиційне видавлювання та в умовах високого гідростатичного тиску;
- математичне моделювання процесів холодного видавлювання.

Подано 29.11.2001