

УДК 621.7.014.2

І. О. Сивак, д. т. н., проф.;

І. Ю. Нікітіна, магістр

ДЕФОРМОВНІСТЬ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕСІ ОБЕРНЕНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Процес оберненого видавлювання широко використовується у виробництві деталей типу «Стакан». Одна із основних проблем при реалізації цього процесу полягає в значній неоднорідності розподілу пластичних деформацій та використаного ресурсу пластичності по об'єму здеформованої заготовки, що значно підвищує ймовірність появи браку, обумовленого зародженням мікротріщин. На даний час більшість досліджень присвячена визначенню енергосилових параметрів процесу оберненого видавлювання [1, 2, 3] та його точності [4, 5]. Разом з тим, відомі методи оцінки якості та технологічної спадковості готових виробів не дозволяють зробити кількісну оцінку пошкодженості деформованого металу.

В даній роботі виконані дослідження впливу умов контактного тертя та гідростатичного підпору на розподіл деформацій та інтенсивність накопичення пошкоджень під час оберненого видавлювання. видавлювання проводилось за двома схемами: звичайною (рис. 1а) та з гідропідпором (рис. 1б) [6].

Експериментальна установка складається із контейнера 2 з матрицею або вкладишем 4. Щоб реалізувати гідростатичний підпор, а також створити умови рідинного тертя в матрицю 4 заливають машинне масло. Кругла плоска заготовка 3 діаметром 28 мм кладеться на вкладиш при звичайному видавлюванні або на заплечики матриці — при використанні гідропідпора. Зверху на заготовку давить пуансон 1 діаметром $d = 18$ мм. В зазор між пуансоном і контейнером проходить видавлювання металу. Як вихідна в даній роботі використана заготовка із технічно чистого свинцю. Досліди проводились на заготовках, для яких відношення діаметра D до вихідної товщини t_0 значно перевищувало значення D/t_0 , за якого настає нестационарна стадія видавлювання.

Для дослідження кінематики процесу оберненого видавлювання вихідні заготовки розрізали на

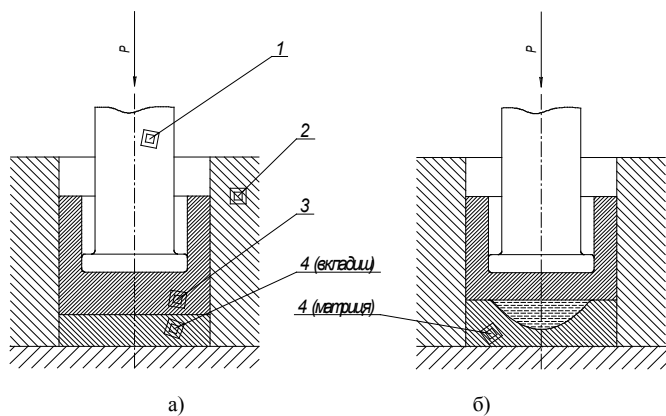


Рис. 1. Схеми видавлювання:
а — звичайна, б — з гідропідпором

дві частини по меридіональному перерізу. Оскільки через розрізання діаметр заготовки зменшувався, то кожен складений заготовку попередньо осаджували в контейнері, в якому потім проводили обернене видавлювання. На меридіональний переріз після осаджування наносили діляльну сітку кроком 2 мм на інструментальному мікроскопі УИМ-21 за допомогою алмазного індикатора.

Для забезпечення герметизації рідинної камери матриці під час видавлювання складених заготовок використовувались прокладки товщиною 0,5 — 1 мм з видавлюваного матеріалу. Прокладки уклада-

лись на заплечики матриці, в яку перед тим заливалась рідина (мінеральне масло), а потім на прокладці поміщалась складена заготовка з нанесеною діляльною сіткою. Елементи деформованої сітки заміряли на інструментальному мікроскопі. Поле деформацій розраховували за допомогою прийомів, запропонованих І. П. Ренне [7].

З позначеннями, показаними на рис. 2, головні логарифмічні деформації визначали за формулами:

$$e_{1,2} = \frac{1}{2} \ln \frac{\left(\frac{a^4 r^2}{h^4 r_0^2} \sin^2 \delta + 1 \right) \pm \sqrt{\left(\frac{a^4 r^2}{h^4 r_0^2} \sin^2 \delta - 1 \right) + \frac{a^4 r^2}{h^4 r_0^2} \sin^2 2\delta}}{2 \frac{a^2 r^2}{h^2 r_0^2} \sin^2 \delta}; \quad (1)$$

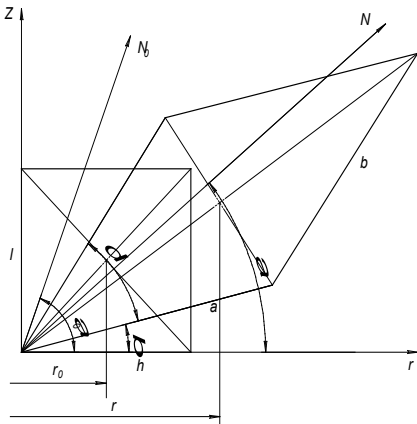


Рис. 2. Елемент ділильної сітки

$$\alpha = \arctg \frac{\frac{a}{h} \sin \beta + \sin(\delta + \beta) \operatorname{tg} \alpha_0 / \frac{r}{r_0} \frac{a}{h} \sin \delta}{\frac{a}{h} \cos \beta + \cos(\delta + \beta) \operatorname{tg} \alpha_0 / \frac{r}{r_0} \frac{a}{h} \sin \delta}; \quad (2)$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \arctg \left(0,5 \frac{r}{r_0} \frac{a^2}{h^2} \sin 2\delta / \left(\frac{a^4 r^2}{h^4 r_0^2} \sin^2 \delta - 1 \right) \right), \quad (3)$$

де r_0, r — радіуси центра ваги комірки до і після деформування;

α, h, δ, β — параметри елемента ділильної сітки, показаного на рис. 2.

Параметри деформованої сітки заміряли також на збільшеній в 5 разів фотографії меридіонального перерізу.

Ступінь деформації розраховували за формулою

$$e_u = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_1 e_2}. \quad (4)$$

Отримані результати в вигляді ізоліній $e_u = \text{const}$ показані на рис. 3а, б.

Із аналізу отриманих результатів випливає, що використання гідростатичного підпору значно поліпшує однорідність розподілу накопиченої деформації по об'єму видавлюваної заготовки. Якщо при звичайному видавлюванні має місце значний градієнт деформацій в зоні контакту і, особливо, в зоні контакту пуансона з заготовкою, то за наявності гідростатичного підпору $\operatorname{grad} e_u$ зменшується майже в 4,0 ... 5,0 разів.

На якість і технологічну спадковість деталей машин, отриманих методом оброблення металів тиском, суттєво впливає рівень та закон розподілу використаного ресурсу пластичності ψ по об'єму здеформованої заготовки. Для кількісної оцінки значень ψ необхідна інформація про напружений стан в пластичні області та закон його зміни протягом всього процесу формозмінення. Тому нами розроблено експериментально-розрахунковий метод визначення напружено-деформованого стану (НДС).

При цьому використано роботи Г. Д. Деля та В. А. Огороднікова [8, 9].

Була прийнята гіпотеза, що кінематика процесу пластичного деформування мало залежить від характеру зміни здеформованого металу [8]. Тому, результати досліджень кінематики процесу, виконані на свинцевих заготовках, в подальшому використовували для визначення компонент тензора напружень в заготовках із Сталі 10.

Компоненти девіатора напружень (S_{ij}) для сталеві заготовки визначали за формулою

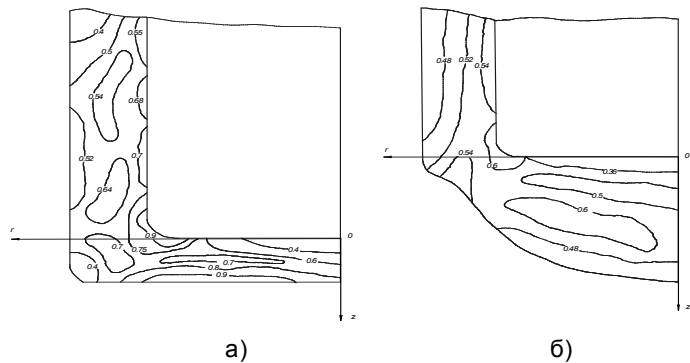


Рис. 3. Ізолінії накопиченої деформації:
а) звичайна, б) з гідропідпором

$$S_{ij} = \frac{2}{3} \frac{\sigma_u}{e_u} e_{ij}. \quad (5)$$

Поточні значення інтенсивності напружень σ_u для заданого ступеня деформації e_u визначали за кривою течії $\sigma_u(e_u)$ для Сталі 10.

Розрахунок компонент тензора напружень проводили за методикою, яка полягає описаному нижче.

Гідростатичне напруження σ визначається шляхом інтегрування диференціальних рівнянь рівноваги, які для осесиметричного деформування мають вигляд

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\phi}{r} = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0. \quad (7)$$

При цьому також використовується інтегральне рівняння рівноваги

$$P = 2\pi \int_0^R \sigma_z r dr, \quad (8)$$

де R — радіус здеформованої заготовки, P — зусилля, яке визначається експериментально.

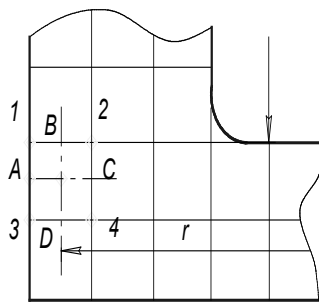


Рис. 4. Схема до розрахунку поля напружень

$$\sigma_r = (\sigma_r)_A + \int_r^R \left(\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\phi}{r} \right) dr, \quad (9)$$

де $(\sigma_r)_A$ — радіальне напруження в точці A границі (рис. 4).

Осьове напруження дорівнює

$$\sigma_z = S_z + \sigma_r - S_r. \quad (10)$$

Після підстановки (10) і (9) у (8) знаходимо:

$$(\sigma_r)_A = \frac{1}{\pi R^2} \left(P - 2\pi \int_0^R (S_z - S_r + S) r dr \right), \quad (11)$$

де

$$S = \int_r^R \left(\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\phi}{r} \right) dr.$$

Для визначення напружень в інших точках радіуса використовували рівняння (9) у вигляді

$$(\sigma_r)_i = (\sigma_r)_{i+1} + \int_{r+1}^{R_i} \left(\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\phi}{r} \right) dr. \quad (13)$$

Осьове напруження σ_z вздовж вертикальних ліній можна розрахувати шляхом інтегрування другого диференціального рівняння рівноваги (7) (див. рис. 4).

$$(\sigma_z)_D = (\sigma_z)_B - \int_{Z_B}^{Z_D} \left(\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} \right) dz. \quad (14)$$

На даний час розраховано значення σ_r для одного радіуса.

Результати розрахунків напружено-деформованого стану були використані для оцінки значень використаного ресурсу пластичності Ψ , який визначали за формулою

$$\Psi = \int_0^{e_u} \frac{de_\phi}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \quad (15)$$

де $e_p(\eta, \mu_\sigma) = \frac{0,68e^{-0,91\eta}}{1 - 0,6216\mu_\sigma + 0,2584\mu_\sigma^2}$ — поверхня граничних деформацій для Сталі 10 [10].

Найнебезпечнішими, з точки зору руйнування, виявились точки, які знаходяться в області максимальних пластичних деформацій $z = 1$ мм, рис. 3.

На рис. 5 показані закони зміни показників напруженого стану η і μ_σ та використаного ресурсу пластичності Ψ за радіусом заготовки в небезпечній зоні при $z = 1$ мм. Із аналізів отриманих результатів випливає, що найбільша інтенсивність накопичення пошкоджень має місце в зонах максимальної нерівномірності пластичних деформацій (рис. 3). Використання гідростатичного підпору дозволило не тільки зменшити ступінь використання ресурсу пластичності, але й отримати рівномірніший його розподіл (рис. 6).

Висновок

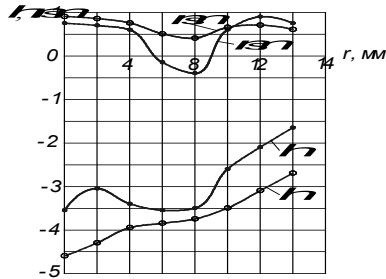


Рис. 5. Зміна показників напруженого стану за радіусом заготовки при $z = 1,0$ мм:

- – видавлювання за схемою 1а,
- – видавлювання за схемою 1б

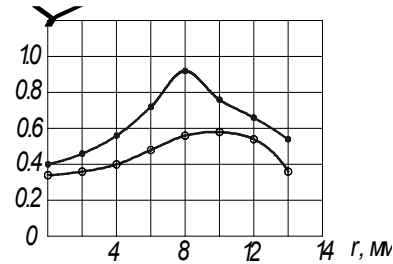


Рис. 6. Зміна використаного ресурсу пластичності за радіусом r заготовки при $z = 1,0$ мм:

- – видавлювання за схемою 1а,
- – видавлювання за схемою 1б

В роботі отримали подальший розвиток методи оцінки НДС та використаного ресурсу пластичності для процесів холодного пластичного деформування. Показано, що використання гідростатичного підпору у відповідності із запропонованою схемою оберненого видавлювання дозволяє змінити умови тертя та зменшити величину середнього напруження, що в цілому дало можливість отримати рівномірніший розподіл пластичних деформацій та використаного ресурсу пластичності, а також зменшити їх максимальні значення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. — М.: Машиностроение, 1983. — 200 с.
2. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов. — Л.: Машиностроение, 1968. — 271 с.
3. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением. — Харьков: Высшая школа, 1981. — 248 с.
4. Антонюк Ф. И., Ланской Е. Н. Точность холодной объемной штамповки, выполняемой на кривошипных прессах с упорами и без упоров // КШП.ОМД. — 2003. — № 11. — С. 18 — 24.
5. Антонюк Ф. И., Ланской Е. Н. Точность холодной объемной штамповки, выполняемой на кривошипных прессах с упорами и без упоров // КШП.ОМД. — 2004. — № 1. — С. 19 — 29.
6. Пенчуков В. М., Брусанов В. Н. Экспериментальное исследование гидростатического обратного выдавливания // Технология машиностроения. Выпуск 22. Исследования в области пластичности и обработки металлов давлением. — Тула: ТПИ, 1972. — С. 113 — 121.
7. Ренне И. П. Экспериментальные методы исследования пластического формоизменения в процессах обработки металлов давлением с помощью делительной сетки. — Тула: ТПИ, 1970. — 146 с.
8. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. — К.: УМК ВО, 1989. — 152 с.
9. Дель Г. Д. Технологическая механика. — М.: Машиностроение, 1978. — 174 с.
10. Сивак И. О. Поверхность предельной пластичности // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії. — Краматорськ: ДДМА, 1999. — С. 9 — 15.

Рекомендована кафедрою технології та автоматизації машинобудування

Надійшла до редакції 6.07.04.
Рекомендована до друку 22.09.04.

Сивак Іван Онуфрійович — завідувач кафедри технології та автоматизації машинобудування; **Нікітіна Інна Юрійівна** — аспірантка кафедри опору матеріалів та прикладної механіки.

Вінницький національний технічний університет