

УДК 621.777.4

К.Л. Марчук, Н.К. Злочевська

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Холодне зворотне видавлювання коробчастих виробів зі змінною по периметру товщиною стінки з пластичного алюмінію*

Холодне видавлювання є широко розповсюдженим процесом в різних галузях машинобудування й приладобудування у всіх промислово розвинутих країнах світу. Використання метода скінченних елементів для аналізу холодного формоутворення виробів процесами обробки металів тиском дозволяє розрахувати параметри штампування та скоротити час на розробку технології і проектування штампового оснащення без використання експериментальних робіт для їх доопрацювання [1-4]. Чисельні методи аналізу та аналітичні залежності, що ґрунтуються на методі скінчених елементів, дозволяють отримати досить точні результати, що дає змогу рекомендувати їх для визначення зусиль, які діють на робочий інструмент. Також метод дозволяє передбачати формозміну заготовки на будь-якій стадії процесу холодного видавлювання, що дозволяє робити висновки про якість отриманих деталей [5].

211

Метою роботи є встановлення за допомогою метода скінченних елементів силових режимів та напружено-деформованого стану здеформованого металу при холодному штампуванні коробчастого виробу із пластичного алюмінію.

На рис. 1 приведено схему видавлювання коробки з позначеннями: $H=V=20$ мм; $c=12$ мм; $d=16$ мм; $h=4$ мм; $r=r_{\text{п}}=2$ мм. На рис. 2 наведено схему пуансона з позначеннями: $c=12$ мм; $b=16$ мм; $z=0,15$ мм; $r=R=2$ мм; $\alpha=0,15^\circ$. Таким чином, при видавлюванні заготовок розмірами $20 \times 20 \times 20$ мм даним пуансоном, отримуємо коробку із товщинами стінки 2 мм в одній площині та 4 мм в іншій.

Розрахунок параметрів проводили шляхом моделювання з використанням програми DEFORM. Тип об'єкту заготовки – пружно-пластичний. Це дозволяє визначити кінцеві розміри та форму виробу після деформування, а також проаналізувати процеси виймання пуансона із здеформованого виробу та виштовхування його із матриці. У роботі видавлювали квадратну заготовку, що виготовлена з алюмінію Al-2024 з габаритами $20 \times 20 \times 20$ мм з коефіцієнтом

* робота виконана під керівництвом д.т.н., проф. Калюжного В.Л.
© К.Л. Марчук, Н.К. Злочевська, 2020

тертя $\mu = 0,08$ та швидкістю деформування $V_0 = 4$ мм/сек. Температура вихідної заготовки 20 °С. Температурний інтервал видавлювання складає $20-85$ °С.

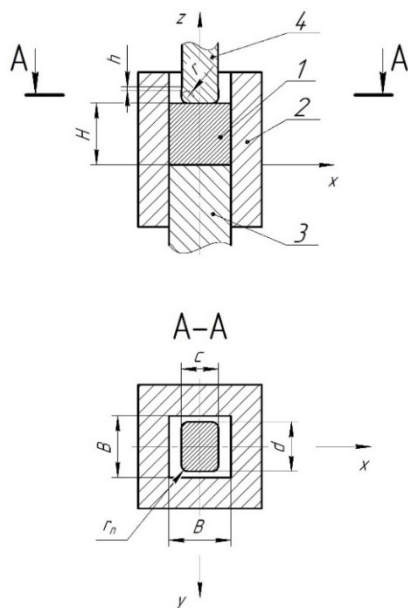


Рис. 1. Схема видавлювання коробки

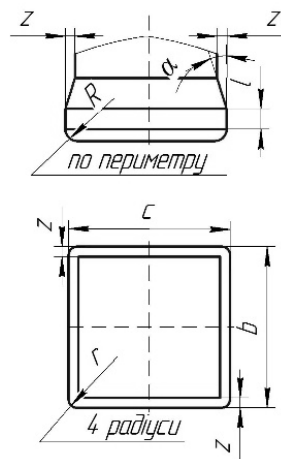


Рис. 2. Схема пуансона з розмірами

На рис. 3 наведені розраховані положення деформуючого інструменту та заготовки в розрізі на різних етапах отримання напівфабрикату. Розташування інструменту на початку штампування наведено на рис. 3 а. Початкова заготовка 1 розташована на виштовхувачі 3 в матриці 2. За допомогою пуансона 4 зусилля деформування прикладається до заготовки. На рис. 3б зображено положення інструменту в кінці видавлювання з отриманням виробу 5. Після цього було проведено моделювання виймання пуансона 4 із zdeформованого напівфабрикату 5, що показано на рис. 3в та виштовхування виробу 5 із матриці виштовхувачем 3, що показано на рис. 3г.

Були встановлені силові режими отримання напівфабрикату при деформуванні напівфабрикату, вийманні пуансона та виштовхуванні заготовки із матриці, які показано на рис. 4. На рис. 4а наведена залежність зусилля штампування на пуансоні від переміщення пуансона. Зусилля на пуансоні безперервно зростає, а наприкінці процесу штампування при переміщенні деформуючого пуансона на 13 мм досягає величини 230 кН. На рис. 4 б зображено залежність зусилля виймання робочого інструменту від його переміщення. Значення зусилля скачкоподібно зростає при вийманні деформуючого пуансона на 3 мм та складає свого максимуму 15 кН, після цього

різко зменшується при переміщенні на 15 мм до 6 кН та поступово зменшується. На рис. 4 в зображено залежність переміщення виштовхувача від зусилля виштовхування напівфабрикату. Максимальне зусилля виштовхування дорівнює 14 кН, що фіксується при переміщенні виштовхуючого інструменту на 4 мм.

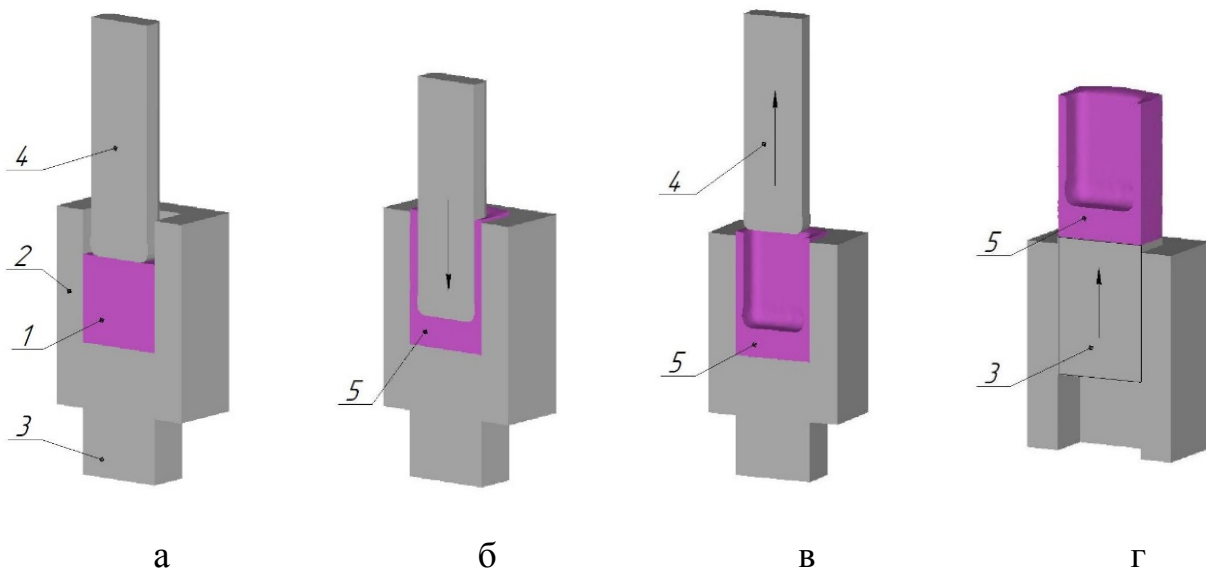


Рис. 3. Послідовність етапів отримання напівфабрикату: а) – на початку процесу; б) – в кінці видавлювання; в) – одразу після виймання пуансона; г) – одразу після виштовхування виробу

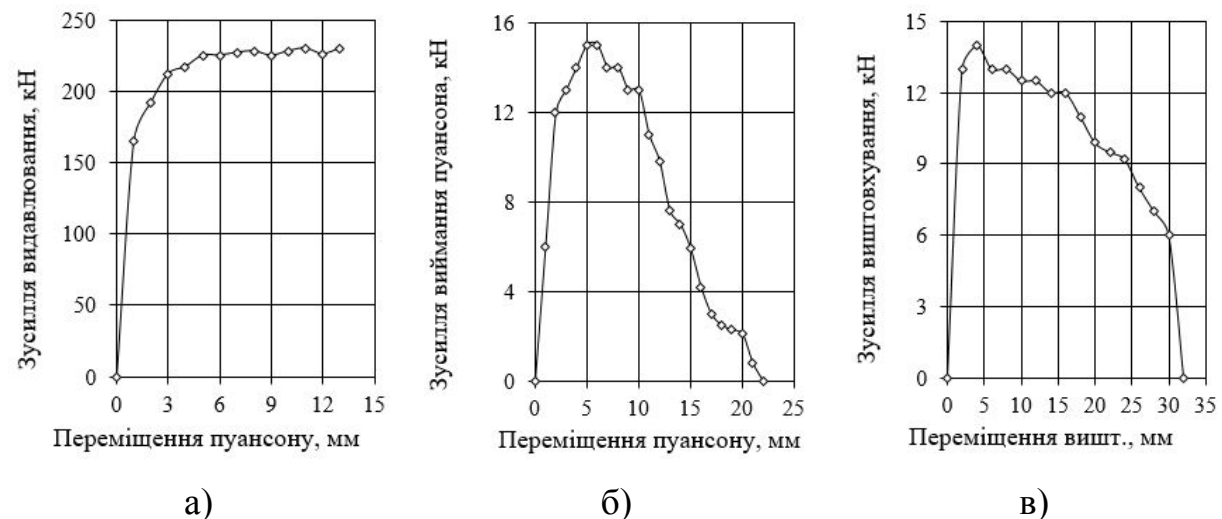
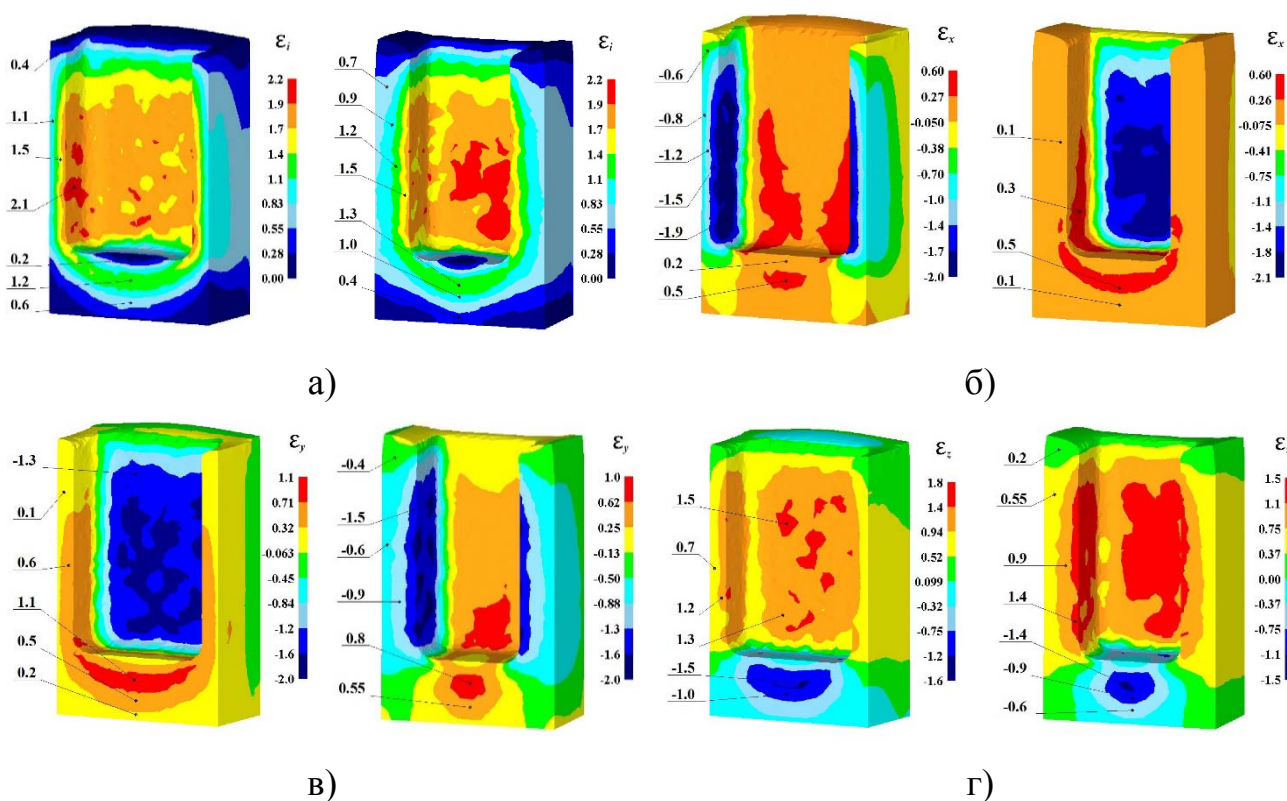


Рис. 4. Графіки силових режимів виготовлення напівфабрикату:
а – графік залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона,
б – графік зусилля виймання пуансона в залежності від його переміщення,
в – графік залежності зусилля виштовхування виробу від переміщення інструменту

На рис. 5 показані розподіли компонент деформацій по об'єму виробу. На рис. 5а показаний розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i в перерізах zdeформованої заготовки, значення якого знаходяться в межах $\epsilon_i = 0 \div 2,2$. По ширині стінки розподіл ϵ_i нерівномірний і зменшується від внутрішньої сторони стінки до зовнішньої. В донній частині zdeформованого напівфабрикату значення інтенсивності деформацій знаходиться в межах $\epsilon_i = 0,5 \div 1,4$. На рис. 5 (б-г) показаний розподіл деформацій ϵ по компонентам x, y та z . За отриманими значеннями накопиченої деформації в об'ємі заготовки ми можемо судити про ступінь зміцнення вихідного матеріалу.



214

Рис. 5. Розподіли компонент деформацій у перерізах zdeформованої заготовки:

- а) - розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i , б) - розподіл деформацій ϵ_x , в) - розподіл деформацій ϵ_y , г) - розподіл деформацій ϵ_z

На рис. 6 показані розподіли компонент напружень по об'єму zdeформованого напівфабрикату при максимальному зусиллі видавлювання (в даному випадку в кінці деформування). На рис. 6а показаний розподіл інтенсивності напружень в перерізі заготовки при дії максимального зусилля видавлювання. Як видно із рисунку, максимального значення ($\sigma_i = 400$ МПа)

інтенсивність напружень набуває в об'ємі під пуансоном та знаходиться в межах $\sigma_i = 350 \div 400$ МПа. Стінки виробу та частина дна під осередком деформації пластично не деформуються. Іntenсивність напружень в стінці виробу розподілена нерівномірно та знаходиться переважно в межах $\sigma_i = 50 \div 100$ МПа в стінці товщиною 4 мм та $\sigma_i = 100 \div 200$ МПа в стінці товщиною 2 мм. Розподіл напружень по компонентам x, y та z показано на рис. 6 (б-г). Аналіз отриманих результатів дозволяє оцінити розповсюдження осередку пластичної деформації в об'ємі заготовки.

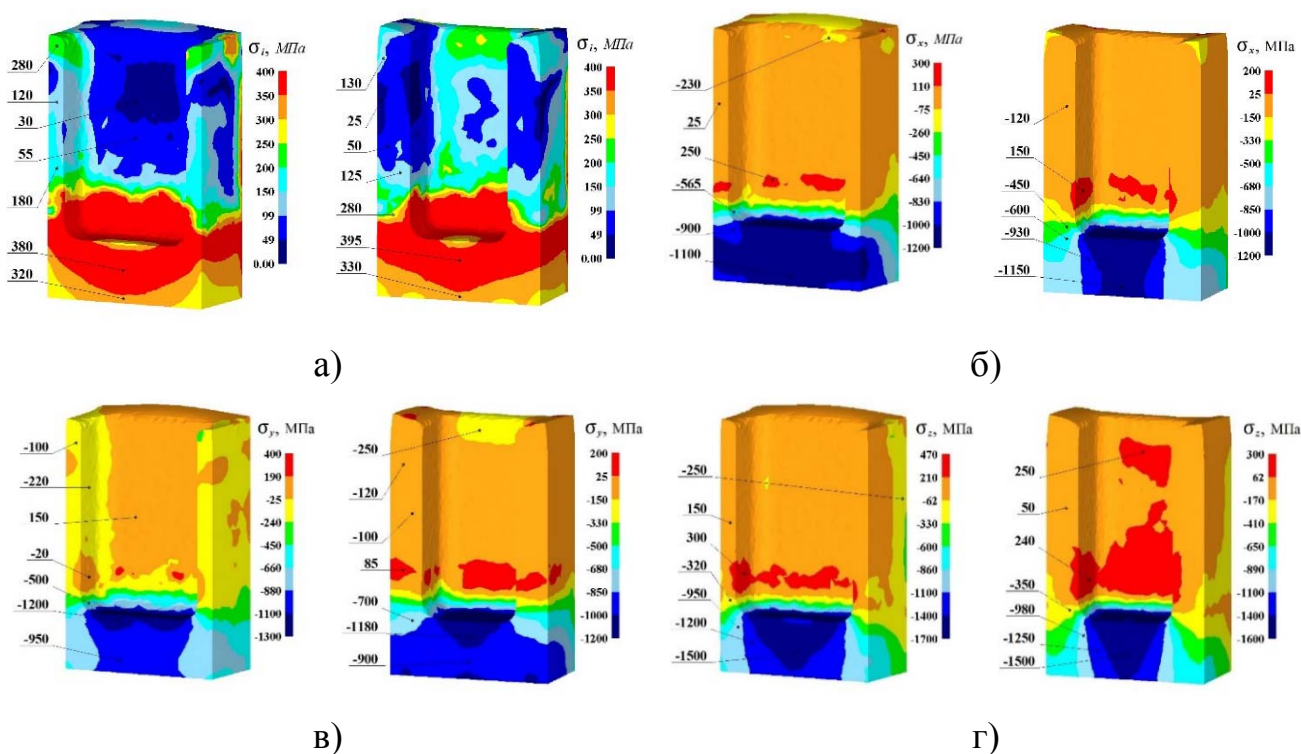


Рис. 6. Розподіли компонент напружень у перерізах заготовки: а) - розподіл інтенсивності напружень σ_i , б) - розподіл напружень σ_x , в) - розподіл напружень σ_y , г) - розподіл напружень σ_z

Висновки:

1. На основі методу скінчених елементів проведено розрахунок холодного видавлювання коробчастих виробів зі змінною по периметру товщиною стінки із пластичного алюмінію.

2. В результаті визначені силові режими та напружено-деформований стан металу при зворотному видавлюванні коробки.

3. Приведені розподіли компонент напружень при максимальному зусиллі штампування та кінцевих деформацій по об'єму zdeформованого виробу. Це дозволяє спрогнозувати зміну механічних властивостей матеріалу готової деталі, оптимізувати технологічні параметри процесу та оцінити вірогідність руйнування матеріалу в процесі деформування.

Список використаних джерел

1. Калюжный В.Л. Конечно-элементное моделирование многопереходного процесса деформирования заготовок при производстве железнодорожных колес / В.Л. Калюжный, А.С. Снитко // Вісник НТУУ „КПІ”. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, серія Машинобудування, 2011. -№ 62. - С. 106-112.

2. Калюжный В.Л. Горячая штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданной проработкой структуры металла пластической деформацией / В.Л. Калюжный, В.Н. Горностай, А.А. Гулюк // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017. - № 1(44). – С. 137-143.

3. Семенов, И.Е., Иванов А.В. Математическое моделирование процесса обратного выдавливания коробчатых деталей // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении: Тематич. сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА, 2007. – С. 151–156.

4. Семёнов И.Е., Иванов А.В. Сравнение аналитических и численных методов расчета технологических параметров процесса, обратного выдавливания коробчатых деталей // Заготовительные производства в машиностроении. – 2007. – № 12. – С. 29–35.

5. Семёнов И.Е. Выдавливание коробчатых деталей с локальными активными силами трения / И.Е. Семёнов, А.В. Иванов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – Орел, ОГУ, 2019. - № 4-2 (336). – С. 172-181.

216