

АНАЛІЗ СИЛОВИХ РЕЖИМІВ ТА ФОРМОЗМІНИ МЕТАЛУ ПРИ ВИТЯГУВАННІ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМ РАДІАЛЬНИМ ПІДПОРОМ ФЛАНЦЯ

Разработана конструкция штампа для реализации процесса вытяжки с дифференцированным радиальным подпором фланца, в котором величина подпора изменяется пропорционально усилию вытяжки. Методом конечных элементов выполнен анализ вытяжки с радиальным подпором фланца полых заготовок из малоуглеродистой стали. Определено влияние величины подпора на силовые режимы вытяжки и работу деформации. Установлена конечная геометрия изделия, напряженно-деформированное состояние, упрочнение и степень использования ресурса пластичности металла после деформации. Определены величины снижения радиальных растягивающих напряжений во фланце заготовки и осевых растягивающих напряжений в стенке изделия, что обеспечивает увеличение высоты получаемого изделия за один переход.

The design of die block for drawing with differential radial backup was developed. The magnitude of backup changes proportionally to load of drawing. The analysis of drawing with differential radial backup of hollow workpieces made of low-carbon steel carried out by finite element method. The influence of backup's magnitude on load modes of drawing and work of deformation were determined. The final geometry of detail, mode of deformation, strengthening and ratio of metal plasticity resource after deformation were determined. The values of reduction of radial tensile stresses at the flange of the workpiece and axial tensile stresses in the wall of the detail were obtained. This achievement provides increasing the height of the final detail in one step.

Вступ. Одним із методів інтенсифікації процесів холодного витягування виробів з листових заготовок є витягування з радіальним підпором фланця заготовки рідиною, що знаходиться під високим тиском. Це дозволяє зменшити величини розтягуючих радіальних напружень в небезпечному перерізі заготовки, що приводить до суттєвого збільшення висоти виробу, яку можна отримати за один перехід. Однак існуючі конструкції штампного оснащення для витягування з радіальним підпором фланця складні по конструкції [1-3], а також не забезпечують витягування виробів з заготовок великого діаметра. Тиск рідини постійної величини в них створюється за допомогою додаткових приводів і пристроїв, що збільшує енергоємність витягування та собівартість виробів. Тому витягування з постійним радіальним підпором фланця не знайшло широкого розповсюдження на виробництві. На кафедрах МПМ та РП і ДМ і ОМ ММІ НТУУ „КПІ” проводяться роботи по розробці конструкцій штампного оснащення і дослідженню процесів витягування вісесиметричних деталей в умовах прикладання диференційованого радіального підпору фланця заготовки. Величина радіального підпору, який створюється за рахунок зусилля витягування без додаткових приводів і пристроїв, змінюється пропорційно зусиллю витягування.

В літературних джерелах недостатньо даних по впливу величини радіального підпору на зусилля витягування та на величини розтягуючих напружень в стінці виробу і у фланці заготовки при витягуванні, а також відсутня інформація про зміцнення та ступінь використання ресурсу пластичності zdeформованого металу і можливості подальшого витягування напівфабрикатів, які отримані витягування з радіальним підпором фланця.

Постановка задачі. Метою роботи є розроблення простої та надійної конструкції штампного оснащення для витягування з диференційованим радіальним підпором фланця заготовки, який створюється без додаткових приводів і пристроїв, та створення і дослідження скінченно-елементних моделей процесу витягування для виявлення впливу радіального підпору фланця на силові режими витягування та напружено-деформований стан заготовок.

Результати досліджень. Для витягування вісесиметричних порожнистих виробів з круглих листових заготовок була розроблена конструкція штампного, в якому радіальний підпір створюється за рахунок зусилля витягування, що прикладається до пуансону, причому зміна величини підпору при витягуванні точно копіює характер залежності зусилля витягування від переміщення пуансону. Для створення підпору за допомогою рідини виключено використання додаткових пристроїв і приводів.

На рис. 1 представлена конструкція такого штампного. Зліва від осі симетрії положення на початку витягування, праворуч – проміжна стадія витягування. Штамп містить контейнер 2, в якому розміщені пружина 7, обойма 6, матриця 18, жорсткий притискач 9, що закріплюється до матриці 18 гвинтами 8. Матриця 18 з притискачем 9 опираються на пружину 7 і утворюють з обоймою 6 порожнину 19 з робочою рідиною. Контейнер 2 фіксується на нижній плиті 1 гвинтами 3. Пуансон для витягування складається з циліндричної частини 12 і сферичного торця 13, які встановлені в пуансонотримач 21. Циліндрична частина пуансону опирається на плиту 23 та прикріплюється до верхньої плити 10 гвинтами 22. Циліндрична частина і торць пуансону скріплюються між собою за допомогою болта 11. Вихідна листовая заготовка 15 встановлюється між матрицею 18 і притискачем 9. При опусканні пуансона вниз робоча рідина з порожнини 19 вільно поступає через отвори 25 в порожнину, яка утворена матрицею притискачем і торцем фланця заготовки. Для запобігання витрат рідини передбачені ущільнення 24, 16 і 27.

Навантаження від пуансону витримує рідина в порожнині 19, що приводить до виникнення в ній тиску q . Величина тиску q визначається площею перерізу порожнини 19. Такий жетиск діє на торець фланця заготовки. На початку витягування зусилля зростає, що автоматично збільшує величину тиску q . В процесі витягування зусилля зменшується, що приводить до зменшення величини тиску q . Після витягування готовий виріб виштовхується з матриці штовхачем 5, а матриця з притискачем повертається в вихідне положення пружиною 7.

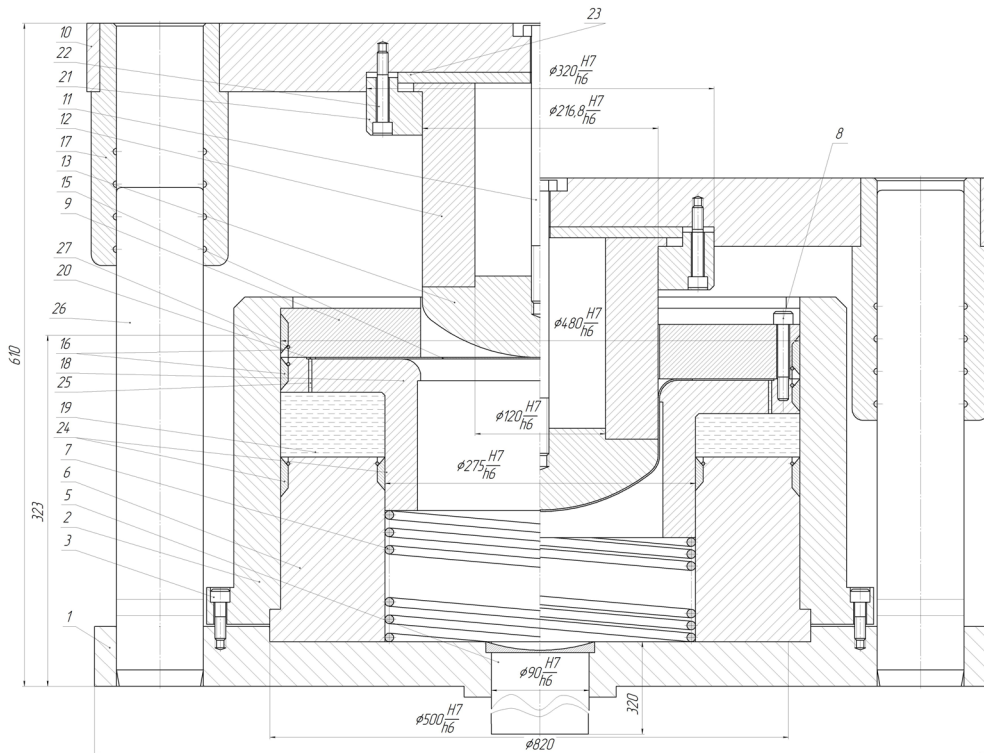


Рис. 1. Конструкція штампу для витягування з диференційованим радіальним підпором фланця заготовки

Були розроблені скінченно-елементні моделі процесу витягування з диференційованим підпором фланця заготовки. Матеріал заготовки вважався ізотропним пружно-пластичним, деформуючий інструмент абсолютно жорстким. Враховані дія підпору, швидкість деформування, геометрія деформуючого інструменту, тертя на контактуючих поверхнях, зміцнення zdeформованого металу по діаграмі істинних напружень та руйнування металу по діаграмі пластичності. Моделювання виконували для витягування листових заготовок із сталі 08 кп діаметром 395 міліметрів (мм) і товщиною 1,5 мм.

Проведено розрахунковий аналіз традиційного витягування (підпір дорівнює нулю), витягування з диференційованим радіальним підпором q , який при максимальному зусиллі витягування досягає значень 10, 25, 50, 75 та 100 МПа, та зазором між притискачем і матрицею 1,7 і 1,8 мм.

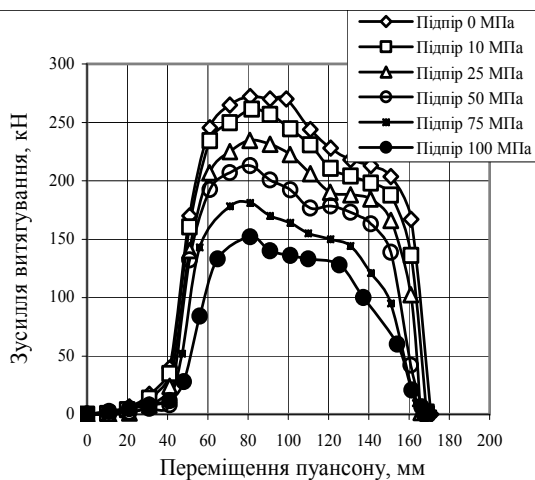


Рис. 2. Залежність зусилля витягування від переміщення пуансону при зазорі між матрицею і пуансоном 1,8 мм

На рис. 2 показані залежності зусилля витягування від переміщення пуансону при зазорі між матрицею і пуансоном 1,8 мм. Дія радіального підпору приводить до зниження зусилля витягування і відповідно роботи деформації. Так при традиційному витягуванні максимальне зусилля складає 272 кН, при витягуванні з підпором величиною 50 МПа 213 кН, а при $q=100$ МПа – 152 кН. При прикладанні підпору $q=10$ МПа зусилля витягування зменшується на 4 %, при $q=25$ – на 14 %, при $q=50$ МПа – на 22%, а при $q=100$ МПа – на 44%. По вказаним залежностям можна визначити роботу деформації для реалізації витягування на кривошипних пресах. Зменшення зазору до 1,7 мм приводить до збільшення зусилля витягування при однакових значеннях підпору в середньому на 4,8%.

Покрокове навантаження при моделюванні витягування дозволило встановити потовщення фланця заготовки при витягуванні. В табл. 1 приведені дані по товщині фланця на початку радіуса заокруглення матриці R_z , радіусі середини фланця R_{cp} та на торці фланця (радіусом R_n) при різних значеннях зовнішнього радіуса заготовки R_n і величині зазору $z = 1,8$ мм.

Таблиця 1

Товщина фланця на різних стадіях витягування

Радіус фланця	Величина радіального підпору, МПа					
	0	10	25	50	75	100
	Товщина фланця S в міліметрах					
R _H = 195 мм	1,51	1,52	1,53	1,53	1,53	1,547
R _{cp} = 137,5 мм	1,505	1,522	1,529	1,526	1,526	1,543
R _{зм} = 120 мм	1,501	1,513	1,519	1,519	1,525	1,54
R _H = 190 мм	1,528	1,53	1,561	1,565	1,57	1,59
R _{cp} = 155 мм	1,526	1,528	1,55	1,56	1,563	1,58
R _{зм} = 120 мм	1,525	1,52	1,54	1,55	1,56	1,57
R _H = 180 мм	1,577	1,598	1,61	1,64	1,68	1,69
R _{cp} =150 мм	1,562	1,587	1,6	1,62	1,66	1,67
R _{зм} = 120 мм	1,55	1,57	1,59	1,61	1,64	1,65
R _H =R _{зм} =120 мм	1,8	1,91	1,98	2,08	2,10	2,12

В табл. 2 приведені дані по розмірах товщини стінки готового виробу після витягування (в верхній частині стінки, посередині стінки на радіусі заокруглення R_{зп} пуансона і в сферичній донній частині). Розміри показані при зазорі між матрицею і пуансоном z=1,8 і 1,7 мм з урахуванням розвантаження металу (пружної деформації) після закінчення процесу витягування.

Таблиця 2

Товщина по висоті стінки виробу після витягування

Зазор z, мм	Частина стінки	Величина підпору, МПа					
		0	10	25	50	75	100
1,8	Верх	1,8	1,8	1,8	1,801	1,802	1,805
	Середина	1,655	1,714	1,729	1,738	1,69	1,79
	На радіусі R _{зп}	1,476	1,5	1,527	1,57	1,62	1,7
	Дно	1,448	1,45	1,466	1,474	1,48	1,483
1,7	Верх	1,708	1,71	1,711	1,714	1,718	1,72
	Середина	1,678	1,683	1,69	1,712	1,716	1,717
	На радіусі R _{зп}	1,448	1,484	1,493	1,56	1,567	1,574
	Дно	1,434	1,453	1,469	1,473	1,485	1,49

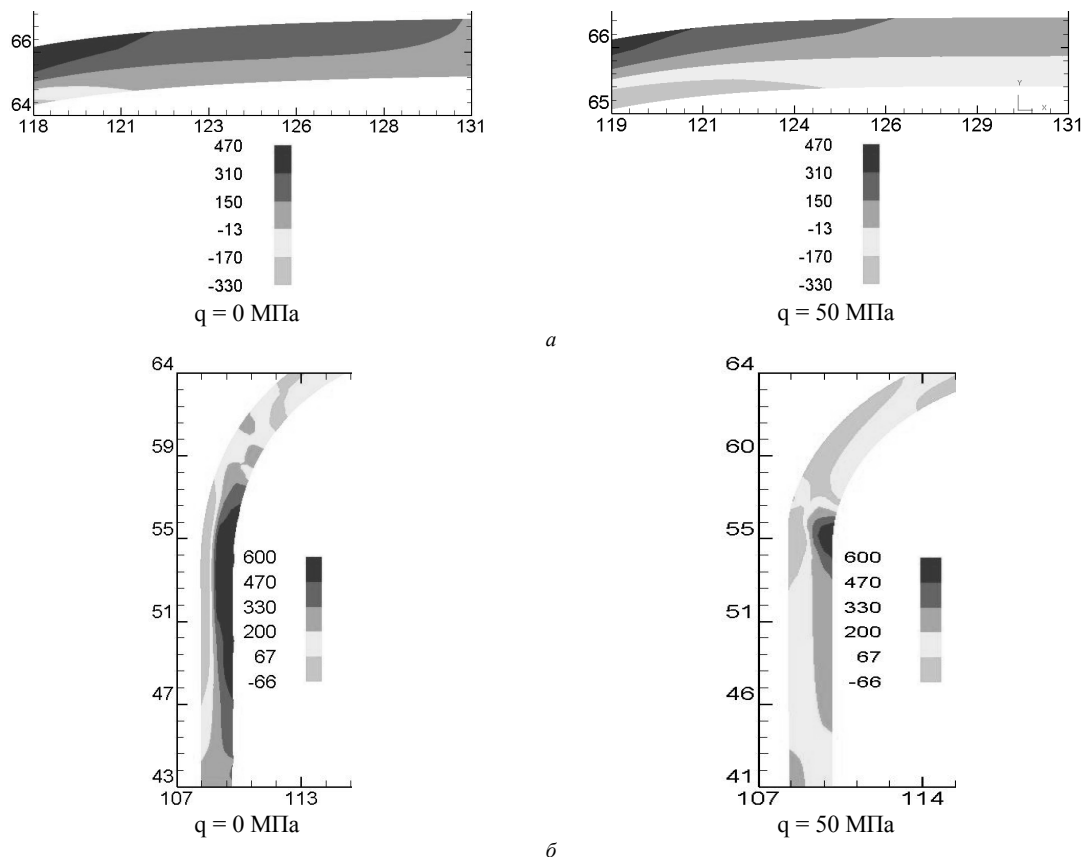


Рис. 3. Розподіл радіальних напружень σ_r (а) по товщині фланця заготовки на початку радіуса заокруглення матриці та осьових напружень σ_z (б) в стінці виробу при витягуванні без підпору та з підпором 50 МПа (розміри в міліметрах)

Основна перевага від прикладання радіального підпору при витягуванні – це зменшення величин радіальних розтягуючих напружень у фланці заготовки та осьових у стінці виробу при витягуванні, що приводить до суттєвого збільшення висоти виробу, яку можна отримати за один перехід. Для прикладу, на рис. 3 зображений розрахунковий розподіл радіальних напружень σ_r у фланці на початку радіуса заокруглення матриці та осьових напружень в стінці виробу на однакових стадіях витягування з зазором $z=1,7$ мм при відсутності підпору і з підпором 50 МПа. При витягуванні без підпору по всій товщині заготовки виникають розтягуючі напруження $\sigma_r = 200$ МПа, а з підпором $q=50$ МПа – 66 МПа. Також суттєво відрізняються в сторону зменшення осьові розтягуючі напруження σ_z в стінці заготовки. При витягуванні без підпору в стінці $\sigma_z=260$ МПа, а при прикладанні підпору $q=50$ МПа отримані значення $\sigma_z=135$ МПа.

Розрахунковим шляхом визначено деформований стан металу, інтенсивність деформацій, інтенсивність напружень, ступінь використання ресурсу пластичності по ширині фланця на протязі процесу витягування та в стінці виробу. Отримані дані дозволяють прогнозувати механічні властивості zdeформованого металу фланця та стінки виробу.

Прикладання диференційованого радіального підпору приводить до більш рівномірного пропрацювання структури металу фланця пластичною деформацією. На рис. 4 показаний розподіл інтенсивності напружень σ_i у фланці при витягуванні з зазором між пуансоном і матрицею 1,7 мм та з підпором 0 і 50 МПа. На однакових стадіях витягування σ_i досягає значень від 455 МПа на торці фланця до 490 МПа на початку радіуса заокруглення матриці. Прикладання підпору 50 МПа приводить до виникнення значень 455 МПа на торці фланця та 480 МПа на початку радіуса заокруглення матриці.

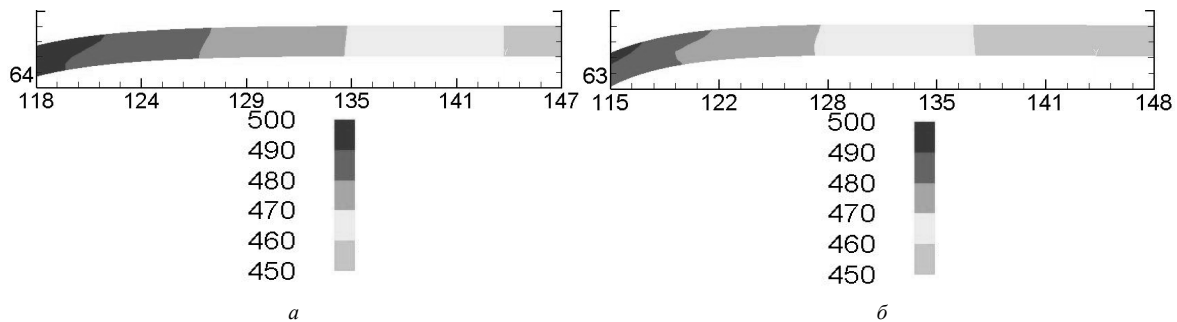


Рис. 4. Розподіл інтенсивності напружень у фланці при витягуванні з підпором 0 МПа (а) та 50 МПа (б)

Висновки.

1. Розроблена конструкція штампа для витягування вісесиметричних порожнистих виробів з круглих листових заготовок з прикладанням на торець заготовки диференційованого радіального підпору, величина якого пропорційно змінюється зусиллю витягування.
2. Створені скінченно-елементні моделі для розрахункового аналізу витягування з прикладанням диференційованого підпору на заготовку. Проведені чисельні експерименти.
3. Розрахунком виявлений вплив величини підпору на зусилля витягування з різним зазором між пуансоном і матрицею. Прикладання підпору приводить до зниження зусилля на пуансоні і роботи деформації при витягуванні.
4. Встановлена кінцева геометрична форма виробів з різною величиною фланців та кінцеві розміри порожнистих виробів з урахуванням розвантаження металу після пластичної деформації.
5. Визначений вплив величини підпору на напружено-деформований стан фланця при витягуванні та стінок порожнистого виробу після витягування.
6. Подальші дослідження необхідно проводити в напрямку впливу радіального підпору на процеси витягування порожнистих виробів з заготовок із кольорових металів, середньовуглецевих та нержавіючих сталей.

Список літератури.

1. Сизов Е.С. Глубокая вытяжка деталей с жидким подпором // Е. С. Сизов, Е. А. Антонов, С. А. Петров; Журнал Кузнечно-штамповочное производство. 1970. - № 4. – С. 23-25.
2. Антонов Е. А. Влияние гидростатического давления на механические свойства и структуру изделий, полученных вытяжкой из листа // Е. А. Антонов, В. А. Новиков, А. С. Матвеев, Б. А. Панченко; Кузнечно-штамповочное производство. 1976. - № 10. – С. 13-17.
3. Антонов Е.А. Экспериментальное определение усилия на пуансоне при гидростатической вытяжке полых изделий из листа // Е. А. Антонов; Исследования в области оборудования и технологии штамповочного производства. Межвузовский сборник научных трудов. Ярославль, 1977. С. 70-77.