

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ХОЛОДНОЮ ПЛАСТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ НА ПРИКЛАДІ ВІСЕСИМЕТРИЧНОЇ ДЕТАЛІ "ВТУЛКА"

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Підвищення якості виробів досягається шляхом прогнозування кількості браку для обраних параметрів заготовки та технологічного процесу, вивченням залежностей пошкодженості виробу від геометричних параметрів заготовки та технологічного зазору між матрицею та пуансоном.

**Ключові слова:** пошкодженість, якість виробів, листовий матеріал, холодне пластичне деформування.

### Abstract

Improving the quality of products is achieved by predicting the number of defects for the selected workpiece parameters and manufacturing process, studying the dependence of the damage of the product on the geometric parameters of the workpiece and the technological gap between the matrix and the punch.

**Keywords:** damage, quality of products, sheet material, cold plastic deformation.

Деталь "Втулка" є частиною складальної одиниці "Корпуса радіатора", що входить у маслonaповнений радіатор "Термія". Основним призначення деталі "Втулка" є формування внутрішнього об'єму в якому буде закріпленний термоелектричний нагрівальний елемент (ТЕН).

Відсутність протікань мастила з внутрішньої порожнини корпусу радіатора забезпечується за рахунок контактного приварювання деталі "Втулка" до стінки радіатора та різьового з'єднання між складальною одиницею ТЕН та "Втулкою". За умови відсутності тріщин та якісно нарізаної різі це різьове з'єднання забезпечує високу ступінь герметичності.

Співвідношення дефективних деталей "Втулка" до обсягу середньої партії досягає 50%.

Розподіл типових дефектів по видам, що виявляються при виготовленні та контролі деталі "Втулка" представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл типових дефектів на 100 дефектних деталей

Дефект	Кількість появ	Відсоток
Тріщина	67	67%
Відсутність тіла деталі (недостатня товщина стінки) при нарізанні різі	18	28%
Невідповідність розмірів	3	3%
Відсутність проштампованих пуклей	2	2%

З таблиці 1 слідує, що найбільша кількість дефектів проявляється у вигляді тріщин на циліндричній частині деталі "Втулка" та відсутність достатнього об'єму тіла деталі під час нарізання різі. Тому найбільш ефективними будуть заходи щодо усунення причин появи тріщин та потоншення листа.

Фактичною причиною появи тріщини, є вичерпання ресурсу пластичності матеріалу, або накопичення критичної кількості пошкоджень в матеріалі деталі. Також, у випадку наявності мікротріщин в навантаженій зоні вони починають розвиватись при значно менших навантаженнях і деформаціях, ніж непошкоджений матеріал [1].

Іншою великою групою дефектів є відсутність тіла (недостатня товщина заготовки) під час нарізання різі, що може бути пов'язане з потоншенням листового матеріалу під час витягування або

його не співвісністю з поверхнею закріплення, оскільки нарізання різі відбувається за допомогою мітчика на токарному верстаті.

Технологія виготовлення деталі «Втулка» представлена у вигляді таблиці 2, де з точки зору формування дефектів визначальними є операції 010 і 015.

Таблиця 2 – Технологія виготовлення деталі "Втулка"

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Хід повзуна	Обладнання
005	Заготівельна	Розрізати лист на полоси шириною 69×1250 мм	-	Ножиці листові кривошипні НЗ118Б
010	Комбінована	Пробити отвір Ø62,4 під розбортовку і вирубати контур деталі	30	Прес КД2326
015	Формувальна	Формувати деталь, отвір під різь витримуючи розміри згідно ескізу	50	Прес К2330Б
020	Формувальна	Формувати 4 пуклі за 1 удар	40	Прес КД2322
025	Контрольна	Перевірити марку матеріалу та розміри		

Для встановлення розмірів заготовки, яку потрібно вирубати на першій операції, використаємо метод рівної ваги, який полягає в припущенні про постійну вагу заготовки і готового виробу  $G'$ . Для цього методу діаметр заготовки визначають

$$D = \sqrt{\frac{1,28G'}{s\gamma}} = 1,128 \sqrt{\frac{G}{s\gamma}}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – щільність матеріалу заготовки;  $s$  - товщина матеріалу.

Відповідно до виразу (1) та на основі вимірювання об'єму та маси деталі в програмі "Компас 3D" визначено діаметр заготовки з урахуванням наявності центрального отвору діаметром 39,6 мм.

Для зменшення пошкодженості та забезпечення формоутворення на операції 015 доцільно обирати внутрішній діаметр заготовки 29-30 мм, а зовнішній – 62-63 мм. За умови застосування радіусів заокруглення пуансона в межах 4-7 мм можна зменшити рівень пошкодженості, а застосування якомога більших зазорів (до 3 мм) забезпечує отримання необхідної форми деталі.

В попередніх дослідженнях нами встановлено, що основними параметрами, які впливають на процес вирубування, а саме на ширину зони пластичної деформації та якість поверхні зрізу є: товщина листа, діаметр вирубного пуансона, величина зазору між пуансоном і матрицею, осьове зміщення пуансона відносно матриці. Відповідно до вимог технологічного процесу лист заготовки - Лист ВТ-2,0 ГОСТ 19904-90/3-II-ВГ-08кп ГОСТ 9045-93. Згідно ГОСТ 19904-90 товщина листа точності ВТ (високої точності) для дуже глибокого витягування коливається в межах  $2 \pm 0,08$  мм. Вище, зазначено, що діаметр вирубного пуансона має знаходитись в межах 29-30 мм, а величина зазору  $Z$  в діаметральному вираженні має бути в межах 0,14 – 0,22 мм. З вказаного діапазону зміни значень зазору можна зробити висновок, що, за умови нормальної точності виготовлення вирубного штампу, максимальна неспіввісність матриці і пуансона становитиме  $0,6 \cdot 0,22 = 0,13$  мм, що суттєво менше від величин зазору, товщини листа. Через це для операції вирубування неспіввісністю пуансона і матриці знехтуємо [2].

Для досягнення мінімальної кількості браку, в процесі виготовлення деталі "Втулка", необхідно вибрати такі параметри операції вирубування за яких ширина зони пластичної деформації буде мінімальною. В якості критерію досягнення початку пластичної деформації приймемо величину максимального напруження зсуву. Для сталі 08кп воно становить приблизно 175 МПа. Таким чином, ділянки, в яких максимальні напруження зсуву перевищують 175 МПа вважатимуться пластично деформованими.

Ще однією умовою зменшення кількості браку є забезпечення мінімального потоншення циліндричної частини деталі "Втулка" в процесі формувальної операції незалежно від дійсної товщини листа та неспіввісності формувальних матриці і пуансона.

В процесі створення імітаційної моделі прийнято допущення, що коефіцієнт тертя між листовою заготовкою і поверхнями матриці, пуансона і притискача є величиною постійною і рівною 0,2. Величина переміщення вирубного пуансона - 6 мм, що цілком достатньо для цієї розділювальної операції.

Оскільки матеріал матриці і пуансона за міцністю суттєво перевищує матеріал листової заготовки, то в розрахунках приймалось, що матриця, пуансон і притискач є абсолютно жорсткими тілами.

В результаті імітаційного моделювання отримуємо розподіл пошкоджень та деформацій по об'єму заготовки на різних стадіях процесу (рисунки 1, 2).

Вимірювання відстаней між ізолініями відбувалось за допомогою вбудованого інструменту програми Deform 3D – лінійки.

Як зазначалось раніше, основними факторами, які мають вплив на ширину зони пластичної деформації під час вирубування заготовки деталі "Втулка" є діаметр пуансона  $d_p$ , товщина листа  $s$ , зазор між пуансоном та матрицею  $Z$ .

Вибрані фактори  $d_p$ ,  $s$ ,  $Z$  мають наступні діапазони зміни: діаметр пуансона  $d_p$  – 29-30мм; товщина листа  $s$  – 1,92-2,08 мм; зазор між пуансоном та матрицею  $Z$  – 0,14-0,22 мм.

Результати імітаційного моделювання показані в таблиці 3.

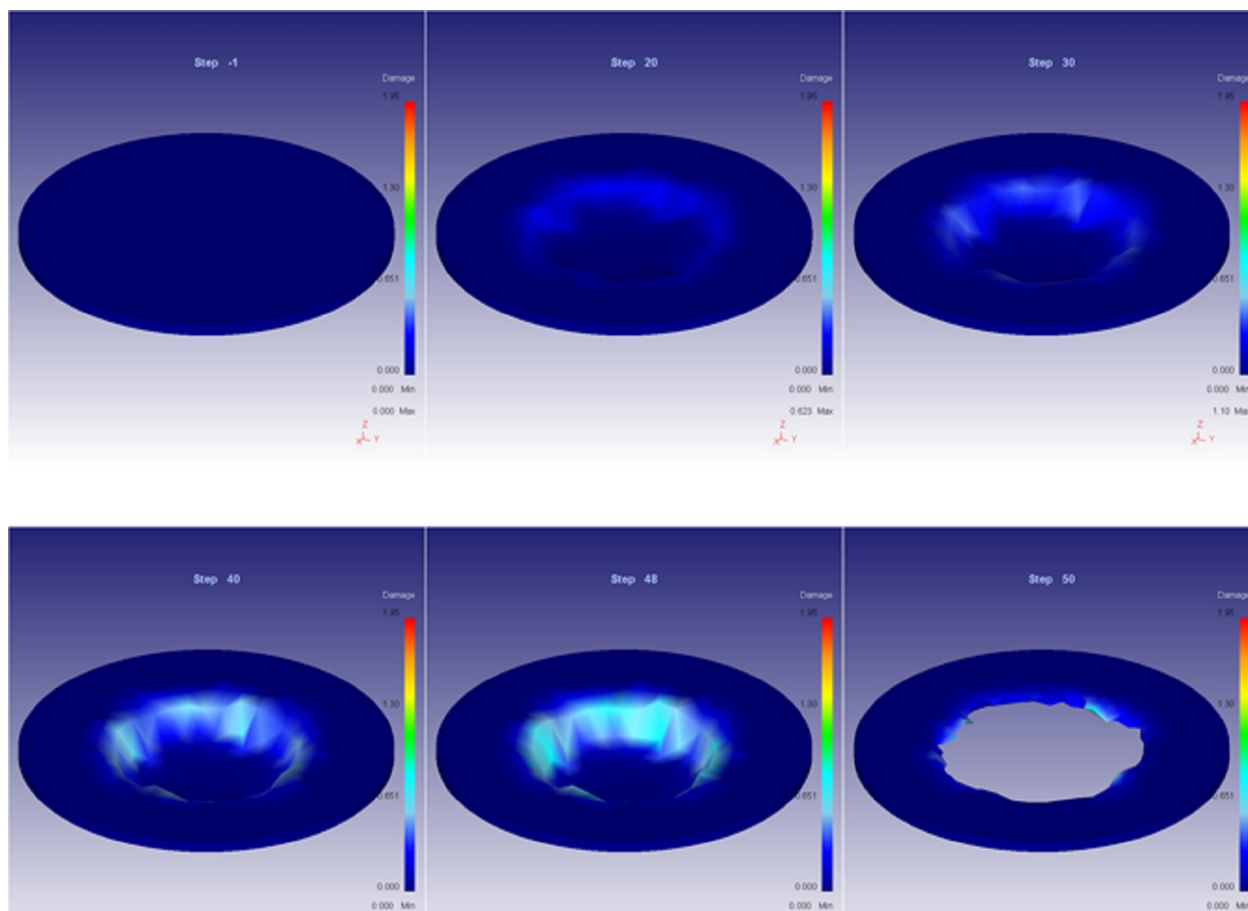


Рисунок 1 – Процес вирубування заготовки з зображенням розподілу пошкоджень

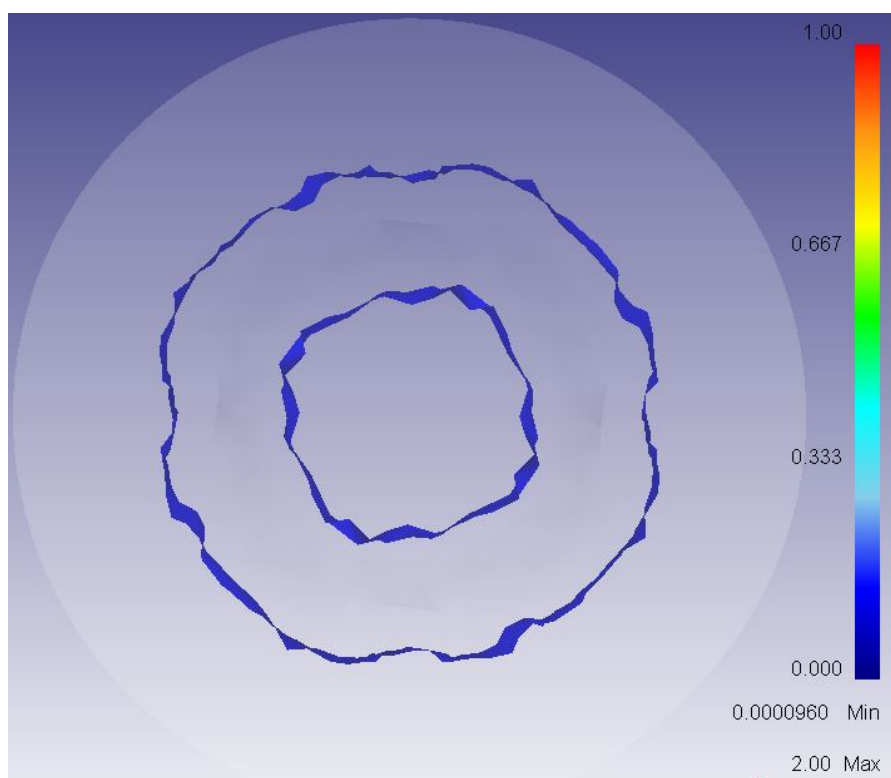


Рисунок 2 – Ізолінії еквівалентної деформації по Мізесу

Таблиця 3 – Результати імітаційного моделювання ширини зони пластичної деформації матеріалу деталі "Втулка" при різних параметрах процесу вирубання

№ п/п	Діаметр пуансона, мм	Товщина листа, мм	Зазор між матрицею і пуансоном, мм	Ширина зони пошкоджень до 0,1 в діаметральному вираженні	Ширина зони пошкоджень з урахуванням діаметру пуансона, мм
1	29,0	1,92	0,14	34,6	5,6
2	29,2	1,92	0,14	36,64	7,44
3	29,4	1,92	0,14	36,62	7,22
4	29,6	1,92	0,14	36,64	7,04
5	29,8	1,92	0,14	37,52	7,72
6	30	1,92	0,14	36,9	6,9
6*	29,5	1,92	0,14	37,82	8,32
7	29,5	1,96	0,14	38,12	8,62
8	29,5	2,0	0,14	38,99	9,49
9	29,5	2,04	0,14	37,13	7,63
10	29,5	2,08	0,14	37,33	7,83
11	29,5	2	0,16	39,38	9,88
12	29,5	2	0,18	38,99	9,49
13	29,5	2	0,2	39,38	9,88
14	29,5	2	0,22	38,8	9,3
15	29,5	2	0,14	40,17	7,25
16	29	1,92	0,14	36,25	10,67
17	30	1,92	0,14	36,9	7,25
18	29	2,08	0,22	37,9	6,9
19	30	1,92	0,22	38,11	8,9
20	29	2,08	0,14	37,04	8,11
21	30	2,08	0,14	37,72	8,04
22	29	2,08	0,22	37,23	7,72
23	30	2,08	0,22	37,92	8,23

Побудуємо залежності на основі таблиці 3 (рисунок 3, 4).

Як слідує з рисунка 3, збільшення діаметра вирубного пуансона призводить до поступового розширення зони істотних пошкоджень та сприятиме поширенню тріщин в деталі "Втулка". Відтак рекомендоване значення розмірів отвору і вирубного пуансону - 29 мм.

З рисунка 4 видно, що збільшення товщини листа дещо зменшує ширину зони істотних пошкоджень. Але, оскільки безпосереднього впливу на товщину листа немає, то розглянемо варіант, який дозволить зменшити пошкодження на формувальній операції та встановимо діапазон розсіювання товщини стінки циліндричної частини, де нарізатиметься різь.

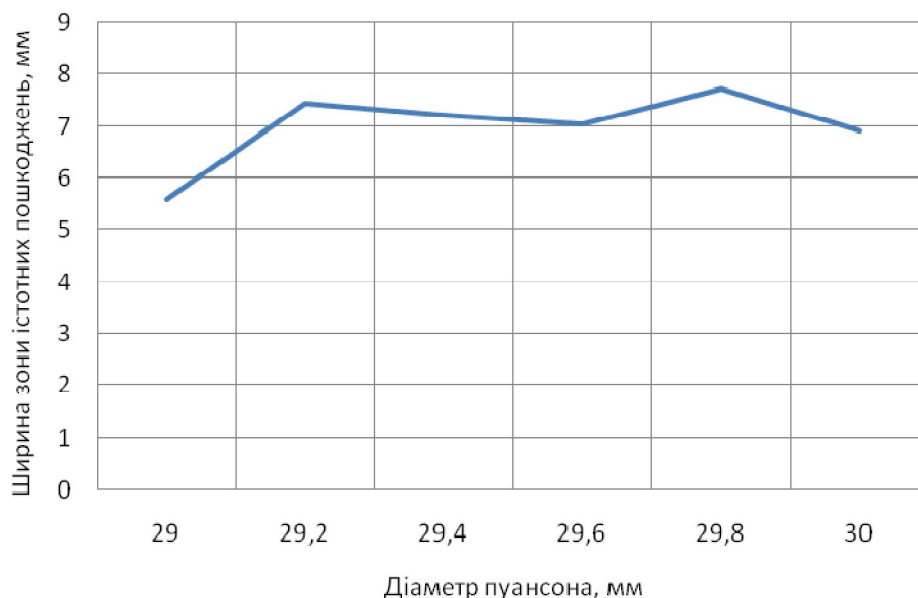


Рисунок 3 – Залежність ширини зони істотних пошкоджень від діаметра вирубного пуансона

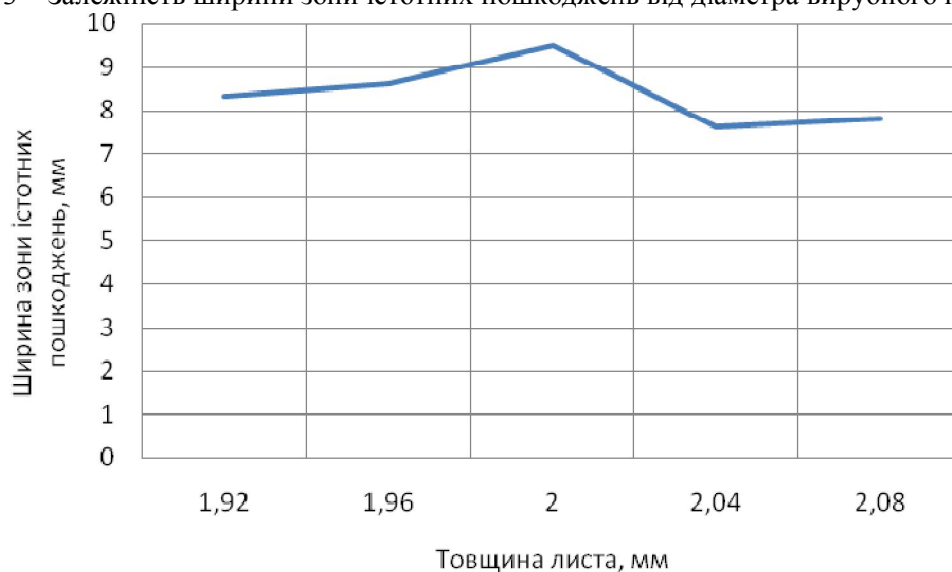


Рисунок 4 – Залежність ширини зони істотних пошкоджень від товщини листа

### **Вплив коливання товщини листа на пошкодження та товщину стінки циліндричної частини після формувальної операції**

Для встановлення впливу параметрів формувальної операції на величину пошкоджень та товщину стінки розглянемо основні чинники, які впливають на процес накопичення пошкоджень та товщину стінки деталі в процесі витягування. Це, в першу чергу, геометричні параметри матриці і пуансона, товщина листа і неспіввідношення матриці і пуансона.

На основі рекомендацій [3] приймемо радіус заокруглення формувального пуансону 5 мм, зазор між формувальною матрицею і пуансоном - 2,2 мм, діаметр формувального пуансона

відповідатиме діаметру внутрішнього отвору деталі "Втулка", який необхідний для нарізання трубної різі  $G 1\frac{1}{4}$ . При цьому мінімальна товщина стінки, яка забезпечуватиме можливість нарізання різі становитиме 1,6 мм.

Розглянемо вплив товщини листа і неспіввідності на пошкодженість деталі "Втулка" та товщину стінки. Відповідно до ГОСТ 19904-90 та вимог технічної документації товщина листа коливатиметься в межах 1,92-2,08 мм. Величина відхилення від співвідності матриці і пуансона визначатиметься з точності механізму штампу. Прийmemo, що відхилення від співвідності не може перевищувати 0,4 мм, оскільки при більших величинах товщина стінки буде недостатньою для нарізання різі.

Результати імітаційного моделювання з визначення впливу товщини листа і відхилення від співвідності на мінімальну товщину стінки та максимальну пошкодженість представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати імітаційного дослідження пошкодженості і товщини стінки деталі від товщини листа і відхилення від співвідності на формувальній операції

№	Товщина листа, мм	Відхилення від співвідності, мм	Максимальна пошкодженість деталі	Товщина стінки, мм
1	2	3	4	5
Вплив товщини листа				
1	1,92	0	0,378	1,6
2	1,94	0	0,395	1,65
3	1,96	0	0,377	1,69
4	1,98	0	0,418	1,62
5	2	0	0,369	1,68
6	2,02	0	0,407	1,7
7	2,04	0	0,391	1,75
8	2,06	0	0,39	1,75
9	2,08	0	0,39	1,77
Вплив відхилення від співвідності				
10	2	0,05	0,386	1,67
11	2	0,1	0,391	1,69
12	2	0,15	0,386	1,64
13	2	0,2	0,38	1,62
14	2	0,25	0,395	1,59
15	2	0,3	0,39	1,58
16	2	0,35	0,382	1,55
17	2	0,4	0,387	1,52

Дані, отримані в процесі імітаційного моделювання витяжної операції (таблиця 4) показують, що коливання товщини листа в межах, встановлених стандартом, не чинить якогось спрямованого впливу і залишає показник пошкодженості практично на одному рівні при цьому збільшуючи товщину стінки пропорційно до збільшення товщини листа (рисунк 5).

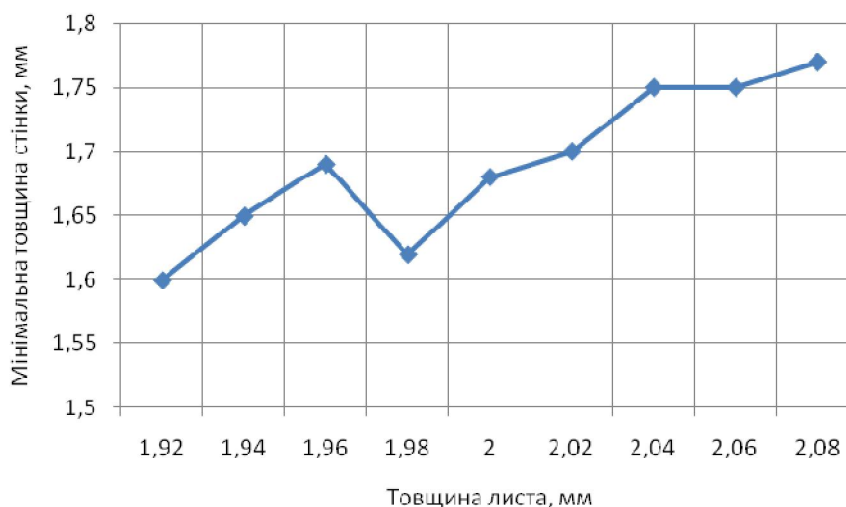


Рисунок 5 – Вплив товщини листа на мінімальну товщину стінки деталі "Втулка"

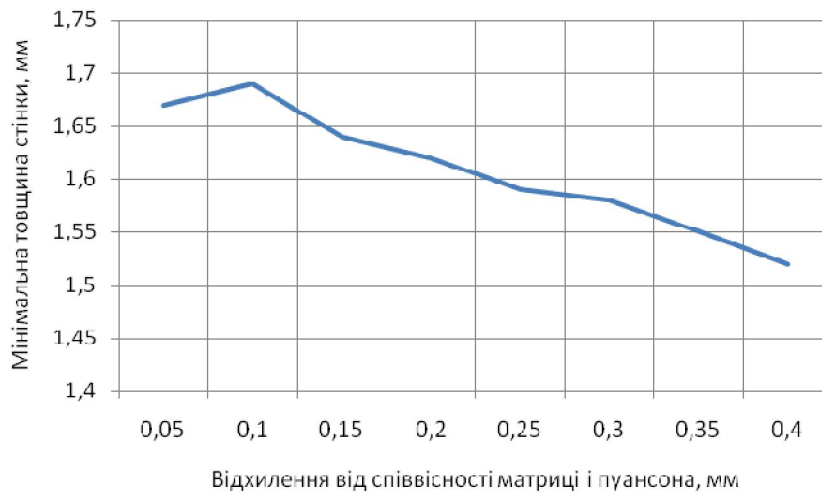


Рисунок 6 – Залежність мінімальної товщини стінки від неспіввісності матриці і пуансону

### Експериментальні дослідження формувальної операції

Основними факторами, які розглядатимуться з точки зору впливу на якість формування деталі "Втулка" є діаметр отвору заготовки  $d_3$ , радіус заокруглення пуансона  $R_n$  та зазор між пуансоном та матрицею  $z$ . Радіус заокруглення матриці не приймаємо в якості змінної, оскільки він забезпечує форму деталі та є величиною незмінною.

Перед початком імітаційного експерименту встановлено межі зміни досліджуваних параметрів: діаметр отвору заготовки  $d_3$  – 10-35 мм, радіус заокруглення пуансона  $R_n$  – 2-8 мм, зазор між пуансоном та матрицею  $z$  – 2-4 мм.

Результати імітаційного експерименту з витягування деталі "Втулка" представлені в таблиці 5. За результатами випробувань побудуємо залежності впливу параметрів досліджень на пошкодженість матеріалу (рисунки 7-9).



Рисунок 7 – Залежність пошкодженості матеріалу від внутрішнього діаметра заготовки

В той же час, збільшення відхилення від співвісності матриці і пуансона призводить до зменшення товщини стінки деталі "Втулка" та може призвести до появи браку. Оскільки мінімальна товщина стінки, яка дозволяє гарантовано отримувати різь 1,6 мм - це означає, що допустиме відхилення від співвісності матриці і пуансона повинно бути не більше 0,2 мм (рисунки 6). Крім того, виявлено, що відхилення від співвісності, в даному випадку, не впливає на рівень пошкодженості матеріалу деталі "Втулка".



Рисунок 8 – Залежність пошкодженості матеріалу від радіуса заокруглення пуансону



Рисунок 9 – Залежність пошкодженості матеріалу від зазору між матрицею і пуансоном

З рисунку 7 слідує, що найбільший рівень пошкодженості матеріалу спостерігається в діапазоні внутрішніх діаметрів заготовки 22–28 мм, яким відповідають зовнішні діаметри заготовки 62–64 мм. Разом з тим, при збільшенні внутрішнього діаметра заготовки понад 30 мм величина пошкодженості різко зменшується водночас з втратою деталлю необхідної геометричної форми. Таким чином, для зменшення пошкодженості доцільно обирати внутрішній діаметр заготовки близько 30 мм, а зовнішній – 63 мм.

Рисунок 8 демонструє мінімум пошкодженості за умови застосування радіусів заокруглення пуансона в межах 4–7 мм.

Рисунок 9 показує, що збільшення зазору до 4 мм призводить до різкого зменшення пошкодженості матеріалу, проте випробування показали, що при таких зазорах втрачається форма деталі. Відтак більш доцільним є використання зазорів до 3 мм.

На основі вище наведених міркувань та розрахунків рекомендованими до використання на заводі, з урахуванням наявного технологічного процесу та оснащення, є заготовка з зовнішнім діаметром 64 мм, внутрішнім діаметром – 29 мм.

Відповідно до ГОСТ 9045-80 розсіювання параметрів міцності(пластичності) сталі 08кп становить близько 30%. На основі [4,5] та величини інтенсивності деформацій ( $\epsilon_d=0,5$ ) можна сказати, що розсіювання величини пошкодженості буде становити близько 0,6 ( $\pm 0,3$ ). Це означає, що частина деталей партії з середнім рівнем пошкодженень близьким до 0,7 обов'язково матимуть тріщини та дефекти.



Таблиця 5 – Рівні пошкодженості матеріалу деталі "Втулка" при різних параметрах процесу витягування (діаметр пуансону – 39,6 мм, товщина листа заготовки – 2 мм, хід матриці-пуансону – 20 мм)

№ п/п	Внутрішній діаметр заготовки, мм	Зовнішній діаметр заготовки, мм	Радіус заокруглення пуансону, мм	Зазор між матрицею і пуансоном, мм	Пошкодженість матеріалу заготовки	Максимальна інтенсивність напружень, МПа	Відповідність формі деталі
1	10	59	5	1,8	0,134	567	деталь не сформована
2	15	60	5	1,8	0,413	524	деталь не сформована
3	20	62	5	1,8	0,482	557	деталь практично сформована
4	25	63	5	1,8	0,551	564	деталь сформована
5	30	65	5	1,8	0,318	496	деталь сформована
6	35	67	5	1,8	0,186	462	форма деталі не відповідає заданій
7	25	63	2	1,8	0,565	571	деталь сформована
8	25	63	3	1,8	0,55	562	деталь сформована
9	25	63	4	1,8	0,527	557	деталь сформована
10	25	63	6	1,8	0,503	553	деталь сформована
11	25	63	7	1,8	0,515	556	деталь сформована
12	25	63	8	1,8	0,518	556	деталь сформована
13	25	63	5	2	0,508	556	деталь сформована
14	25	63	5	2,5	0,501	553	деталь сформована
15	25	63	5	3	0,509	552	деталь сформована
16	25	63	5	3,5	0,553	567	деталь неправильної форми (овальність)
17	25	63	5	4	0,481	546	деталь неправильної форми (овальність)
18	35	67,9	8	4	0,164	441	деталь не відповідає заданій формі
19	10	59	8	4	0,218	450	деталь не сформована
20	35	67,9	2	4	0,198	446	деталь сформована
21	10	59	2	4	0,223	468	деталь не сформована
22	35	67,9	8	2	0,169	460	деталь сформована
23	10	59	8	2	0,246	452	деталь не сформована
24	35	67,9	2	2	0,345	460	деталь сформована
25	10	59	2	2	0,212	476	деталь не сформована
Розрахунок заготовки з заводськими та модернізованими параметрами							
26	28,3	62,7	5	1,8	0,423	524	деталь сформована
27*	29	64	5	2	0,313	484	деталь сформована

## Визначення відсотку браку після двоопераційної обробки

В результаті імітаційного моделювання та встановлених обмежень отримано можливість виготовляти деталь "Втулка" без такого дефекту, як "Відсутність тіла при нарізанні різі". Тепер потрібно визначити кількість браку, внаслідок появи тріщин на циліндричній частині деталі "Втулка". Для цього, на основі того факту, що в процесі вирубання отвору поверхні піддаються зрізу (чистий зсув) вони використовують ресурс пластичності матеріалу (пошкоджують матеріал). Величина використання цього ресурсу залежить від виду деформації та пластичності матеріалу заготовки. Оскільки, відповідно до стандарту фізико-механічні властивості матеріалу заготовки мають певне розсіювання (близько 30%), то і величина використання ресурсу пластичності теж буде змінюватись в залежності від матеріалу заготовки. Прийmemo, що остаточний рівень пошкодженості матеріалу навколо внутрішнього отвору заготовки становитиме 0,5.

На основі [4,5] та інтенсивності деформацій в процесі витягування можна сказати, що розсіювання величини пошкодженості буде становити близько 0,4 ( $\pm 0,2$ ). Відповідно до таблиці 2.4 середнє значення пошкодженості матеріалу заготовки (для рекомендованих розмірів заготовки і геометричних параметрів матриці і пуансона), незалежно від реальної товщини листа та відхилення від співвісності (не більше 0,2 мм) становить 0,38. Таким чином, в процесі двоопераційної обробки можливі наступні рівні пошкодженості матеріалу заготовки:

мінімальний

$$0,5 + (0,38 - 0,2) = 0,68;$$

максимальний

$$0,5 + (0,38 + 0,2) = 1,08.$$

Тобто, максимальне значення пошкодженості перевищує одиницю, що означає появу тріщин, надривів тощо. Оскільки немає домінуючих факторів, що впливають на пластичність матеріалу, його міцність та рівень пошкодженості вважатимемо, що пошкодженість деталі в партії розподілиться за нормальним законом.

Відповідно до прийнятих допущень, розрахункова кількість браку для заводської деталі "Втулка" за модернізованим варіантом визначатиметься виразом (математичне очікування – 0,88, середньоквадратичне відхилення – 0,067)

$$P_{\text{браку}} = \Phi((1,08 - 0,88)/0,067) - \Phi((1 - 0,88)/0,067) = 0,49865 - 0,4641 = 0,034.$$

Таким чином, в покращеному технологічному процесі очікувана кількість браку пов'язаного з тріщинами та надривами становитиме 3,4%. При цьому, брак, пов'язаний з недостатньою товщиною стінки деталі під час нарізання різі, буде відсутній взагалі.

Отже, за початковими даними кількість браку пов'язана із тріщинами і надривами становила 67% від усіх дефектів та 22% від усієї кількості деталей [2]. Порівняння кількості браку за заводським технологічним процесом та модернізованим на 1000 виробів представлено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Порівняльний аналіз кількості браку за видами на 1000 виробів

Дефект	Відсоток від всієї партії	Розподіл браку за видами	Заводський технологічний процес	Модернізований технологічний процес
Тріщина	22%	67%	220	34
Відсутність тіла деталі (недостатня товщина стінки) при нарізанні різі	9,2%	28%	92	-
Невідповідність розмірів	1,6%	3%	16	16
Відсутність проштампованих пуклей		2%		
Всього			328	50

Таким чином, загальний рівень браку знизився з 328 деталей на 1000 штук до 50 деталей на 1000 штук, що становить 5% від випуску деталі.

## Висновки

1. Розроблена методика математичного моделювання та розрахунок параметрів заготовки за допомогою програми «Deform-3D», яка дозволила виконати дослідження процесів вирубання та формування вісесиметричних деталей.

2. На основі математичного моделювання процесу вирубання та формування деталі «Втулка» запропоновано модернізувати розміри та елементи штампової оснастки – діаметр вирубного пуансона 29 мм, зазор між матрицею та вирубним пуансоном – 0,2 мм; допустима неспіввідношення витяжної матриці і пуансона – не більше 0,2 мм при зазорі 1,8 мм на сторону, діаметр витяжного пуансона 39,6 мм, радіус його заокруглення – 5 мм.

В результаті підбору геометричних характеристик вирубного штампу та витяжного штампу очікувана кількість браку від тріщин та надривів зменшується з 22% до 3,4%, а брак пов'язаний із недостатньою товщиною стінки - зникне. Всього ж, рівень браку впаде з 32,8% до 5%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малов А. Н. Технология холодной штамповки / А. Н. Малов. Москва : Машиностроение, 1969. – 568 с.
2. Артемчук О. Ю. Підвищення якості виготовлення деталей холодним листовим штампуванням [Електронний ресурс] / О. Ю. Артемчук, В. В. Савуляк // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/9915>.
3. Келип С. М. Виготовлення вісесиметричної деталі з центральним отвором і відбортовкою. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/viewFile/6272/5173>
4. Писаренко В. Г. Вплив різнотовщинності листових зразків для випробувань на розтяг на поверхню граничних деформацій [Текст] / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк, В. Є. Білічкіна // Проблеми трибології. – 2014. – № 4. – С. 106–111.
5. Савуляк В. В. Оцінка розсіювання значення використаного ресурсу пластичності для процесів обробки тиском листових матеріалів / В. В. Савуляк, В. Г. Писаренко, Р. О. Мордач, М. О. Мордач // Наукові нотатки. - 2016. - Вип. 54. - С. 268-272. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2016\\_54\\_50](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2016_54_50)

**Савуляк Віктор Валерійович** — к.т.н., доцент, доцент кафедри технології та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vsav81@gmail.com](mailto:vsav81@gmail.com);

**Василишен Вадим Васильович** – студент гр. 1ПМ-176, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Салін Дмитро Олександрович** - студент гр. 1ПМ-176, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Гінковський Ярослав Вячеславович** - студент гр. 1ПМ-176, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Вороніна Анастасія Ігорівна** студент гр. 1ПМ-176, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Savulyak Victor V.** — Associated Professor, Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vsav81@gmail.com](mailto:vsav81@gmail.com);

**Vasilishen Vadim V.** – student 1PM-17b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Salin Dmytro O.** – student 1PM-17b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Ginkovskiy Yaroslav V.** – student 1PM-17b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

**Voronina Anastasiya I.** – student 1PM-17b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.