

УДК 621.7.01

В. Г. Писаренко, д. т. н.; В. В. Савуляк, к. т. н., доц.; В. Є. Билічкіна

ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ЛИСТОВИХ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЗСУВ

У статті проаналізовано вплив геометричних параметрів листових зразків для випробувань на зсув на показники напружено-деформованого стану в зоні вимірювання під час випробувань. Для забезпечення умов деформування, близьких до зсуву, запропоновано нову конструкцію листових зразків. Установлено вплив геометричних характеристик запропонованих листових зразків на величину показників напружено-деформованого стану та їхню різницю в зоні вимірювання.

Ключові слова: напруження, деформації, листовий матеріал, випробування на зсув, плоский напружений стан.

Постановка завдання

Криза ресурсів змушує виробників і споживачів більш ощадливо ставитись до їх використання, що призводить до широкого застосування ресурсощадних методів, способів і технологій обробки. Значна частка таких методів припадає на обробку металів тиском. Серед головних завдань, які розв'язують під час проектування технологічних процесів виготовлення, одним з основних є забезпечення стабільного випуску якісних виробів. Значною мірою таке завдання розв'язують за рахунок правильного підбору або розрахунку режимів обробки, які ведуть з урахуванням пластичності матеріалу. Мірилом для оцінки можливості отримання того чи іншого виробу методами пластичної деформації є критерій ψ , запропонований в роботах Губкіна, Смирнова-Аляєва, Деля, Огороднікова та інших авторів [1]. Суть цього критерію полягає в тому, що катастрофічне руйнування обов'язково настає в момент, коли $\psi = 1$, тобто в цей момент пластичність матеріалу вичерпано. Розрахунок використаного ресурсу пластичності можна проводити за формулою [2]

$$\Psi = \int_0^{e_i} n \frac{e_i^{n-1}}{e_p(\eta, \mu_\sigma)^n} de_i \leq 1, \quad (1)$$

де e_p – гранична деформація до руйнування; e_i – інтенсивність деформацій; $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ – поверхня граничних деформацій; $n = 1 + 0,2 \arctg\left(\frac{d\eta}{de_i}\right)$ – показник, який враховує характер зміни пластичності залежно від жорсткості напруженого стану; $\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$ – жорсткість напруженого стану; $\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ – вид напруженого стану.

Із виразу (1) видно, що істотний вплив на точність визначення використаного ресурсу пластичності має поверхня граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$, побудована в безрозмірній системі координат: жорсткість напруженого стану η , показник виду напруженого стану (показник Надаї – Лодє) μ_σ . Згідно з методикою [2] поверхню граничних деформацій будують на основі даних, отриманих у результаті дослідів на розтягування, стиснення і кручення (зсув)

$$e_p(\eta_2, \mu_\sigma) = \frac{e_p(0,0)\exp(-b\eta_2)}{1 + \lambda_1\mu_\sigma + \lambda_2\mu_\sigma^2}, \quad (2)$$

де $\lambda_1 = \ln\left(\frac{e_p(-1,0)}{e_p(0,0)}\right)$, $\lambda_2 = \ln\left(\frac{e_p(0,1)}{e_p(0,0)}\right)$, $b = \lambda_1 - \lambda_2$ – коефіцієнти апроксимації; $e_p(0,0)$ –

гранична деформація під час випробувань на кручення (зсув); $e_p(-1,0)$ – гранична деформація під час випробувань на стиснення; $e_p(0,1)$ – гранична деформація під час випробувань на розтягування. Фактичну величину граничної деформації, визначену за результатами випробувань на кручення, уточнюють за емпіричним виразом [2], оскільки на поверхні матеріалу (у зоні фіксації значень) показники η_2 і μ_σ коливаються в межах від -0,1 до 0,1.

Із (2) слідує, що вплив точності визначення граничних зсувних деформацій на точність побудови діаграми пластичності і, відповідно, на розрахунки використаного ресурсу пластичності є вагомим.

У цій роботі проведено аналіз впливу форми та геометричних параметрів зразків для випробувань на зсув на показники напружено-деформованого стану в зоні вимірювання.

Напружено-деформований стан зразка під час випробувань на зсув

Для визначення граничної деформації кручення використовують циліндричні зразки з формою, що відповідає вимогам стандарту, а для визначення граничних деформацій на зсув для листових матеріалів геометричні параметри таких зразків не встановлені. Отже, основною метою цієї роботи є уточнення геометрії зразка для проведення випробувань на зсув листових матеріалів та виявлення її впливу на показники напружено-деформованого стану.

У роботах [2, 3] для визначення граничної деформації листового матеріалу на зсув пропонують декілька видів зразків (рис. 1).

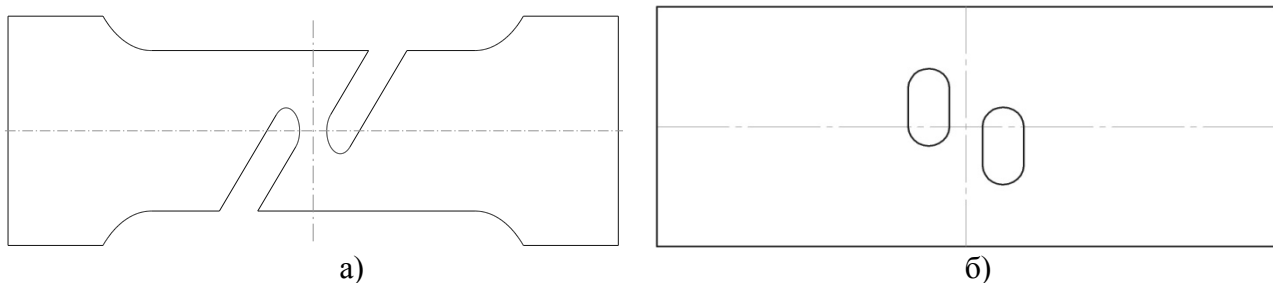


Рис. 1. Конструкції зразків для випробувань листових матеріалів на зсув:

- а) – зразок, запропонований у роботі [2];
б) – зразок, запропонований авторами цієї статті

Розглянемо механічні моделі процесу деформування зразків (рис. 2). Для зразка, відповідно до зображеної на рис. 2а схеми, робочу ділянку 1 під час випробувань на розривних машинах піддають дії не тільки зсувних навантажень, але й дії крутного моменту. У результаті дії сил розтягування робоча частина зразка перебуває у стані позацентрового розтягування, тобто відбувається не чистий зсув ділянки зразка (плоский напружений стан), а більш складний процес: зсув на ділянці 1 та одночасне її видовження, а на ділянках 2 – розтягування та згинання. За рахунок появи крутного моменту права і ліва частини зразка намагаються розвернутись таким чином, щоб перемичка 1 збігалася з напрямком руху захватного пристрою, що призводить до суттєвої відмінності напружено-деформованого стану в зоні 1 від зсуву. Це підтверджено моделюванням та натурними випробуваннями зразків (рис. 3а, 4а).

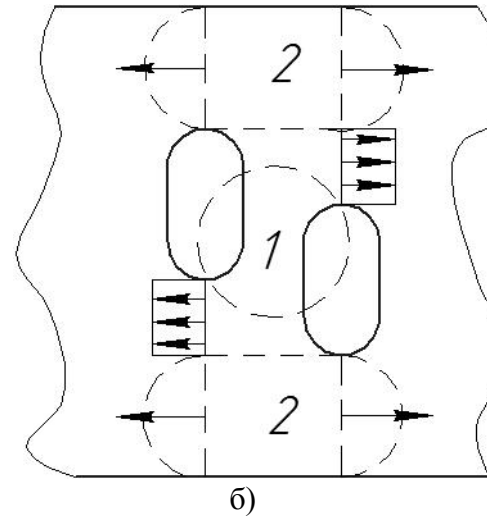
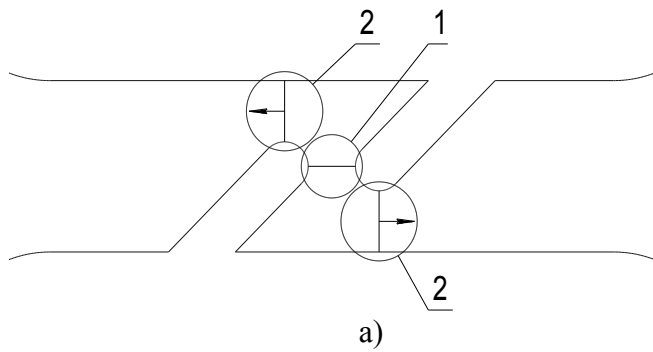
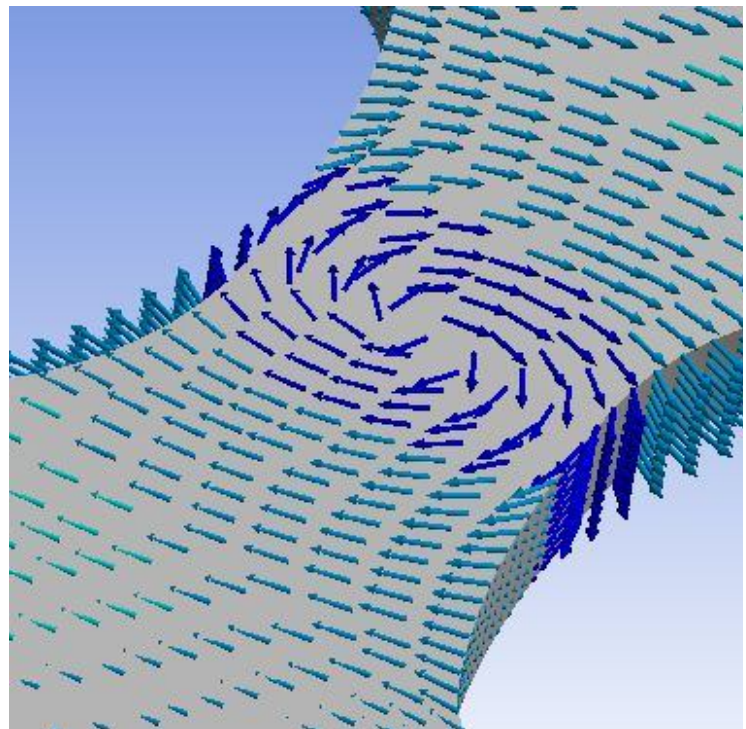
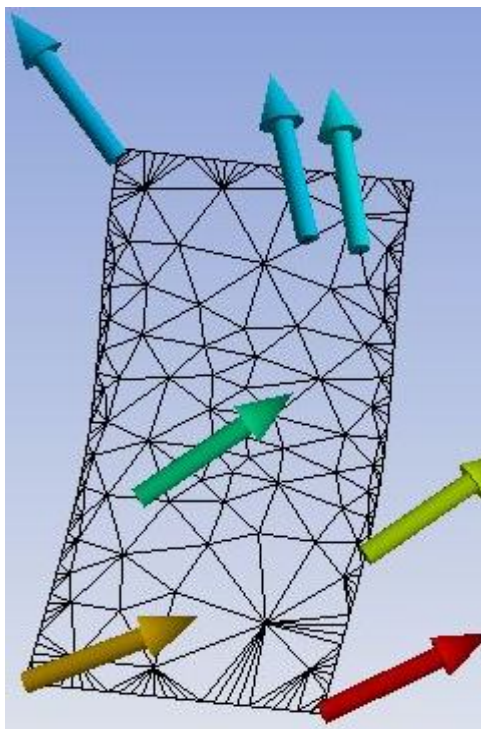


Рис. 2. Механічні моделі деформування зразків:
 а) – зразок, запропонований у роботі [2];
 б) – зразок, запропонований авторами цієї статті



а)

б)

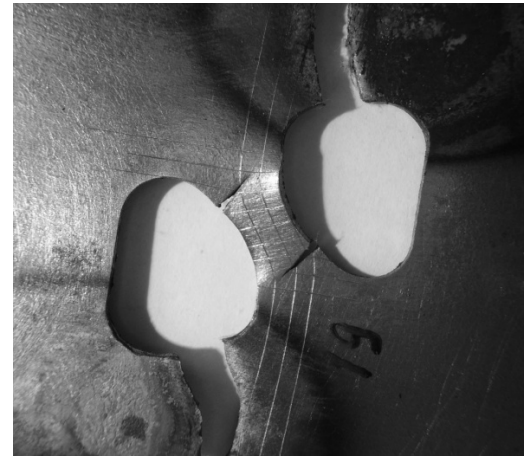
Рис. 3. Напрямки переміщень точок перемички у процесі деформування:
 а) – зразок, запропонований у роботі [2];
 б) – зразок, запропонований авторами цієї статті

На відміну від зразка *a*, у процесі деформування зразка *б* напружено-деформований стан на ділянці 1 (рис. 2б) більш близький до зсуву. Це пояснюється тим, що намагання правої і лівої частини зразка зміститись одна відносно одної компенсується за рахунок деформацій зон 2 (рис. 3б, 4б). Такого ж ефекту можна досягти за рахунок використання спеціальних напрямних, які обмежуватимуть взаємний рух половинок зразка.



а)

Рис. 4. Вигляд зразків після натурних випробувань:
а) – зразок запропонований у роботі [2];
б) – зразок запропонований авторами цієї статті



б)

Ще одним недоліком обох зразків є втрата стійкості перемички (в площині зразка) під час деформування і, як наслідок, втрата зразком площинності. Проте цього можна уникнути за рахунок додаткових накладок на зону перемички або зменшенням ширини перемички. Для зменшення ширини перемички до мінімальних значень суттєвим обмеженням є можливість ідентифікації величини зсуву за рахунок різного роду міток. Тому більш ефективним, на наш погляд, є комбінований розв'язок зменшення товщини перемички й одночасне використання додаткових накладок для фіксування переміщень у напрямку перпендикулярному до площини листа.

Отже, з урахуванням вищевикладеного, більш перспективними є зразки, представлені на рис. 1б.

З метою виявлення впливу геометричних параметрів зразка на показники напружено-деформованого стану було проведено серію імітаційних розрахунків, у яких досліджували вплив геометричних характеристик зразка, запропонованого авторам на показники напружено-деформованого стану. Для підвищення ефективності розрахунків було побудовано параметризовану модель зразка (рис. 5).

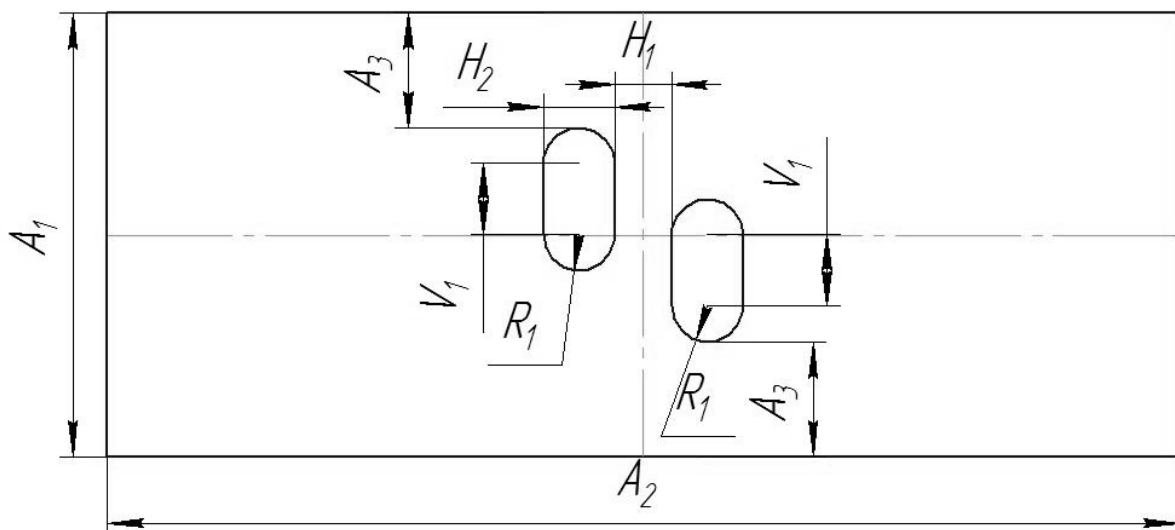


Рис. 5. Параметризована модель зразка, запропонованого авторами

У процесі вивчення впливу геометричних параметрів на показники напружено-деформованого стану виявлено, що параметри A_1 , A_2 , A_3 і H_2 не здійснюють суттєвого впливу. Отже, основний вплив чинять: R_1 – радіус заокруглення паза; H_1 – ширина перемички (робочої зони); V_1 – довжина паза. Для спрощення ідентифікації зони

вимірювання прийнято, що вимірювання проводять у зоні 1 запропонованого зразка (рис. 2б), віддаленій на 2 мм від кожного з пазів та обмеженою центральними заокругленнями пазів. У дослідженнях обмежилися зразками товщиною до 6 мм, оскільки, як показали розрахунки, для зразків із більшою товщиною напружено-деформований стан усе більше наближається до об'ємного.

В результаті розрахунків були отримані залежності показників η (показник напруженого стану) та μ_σ (показник Надаї – Лоде) від геометричних параметрів – R_1 , H_1 та V_1 . У графічному вигляді вони представлені на рис. 6 та 7.

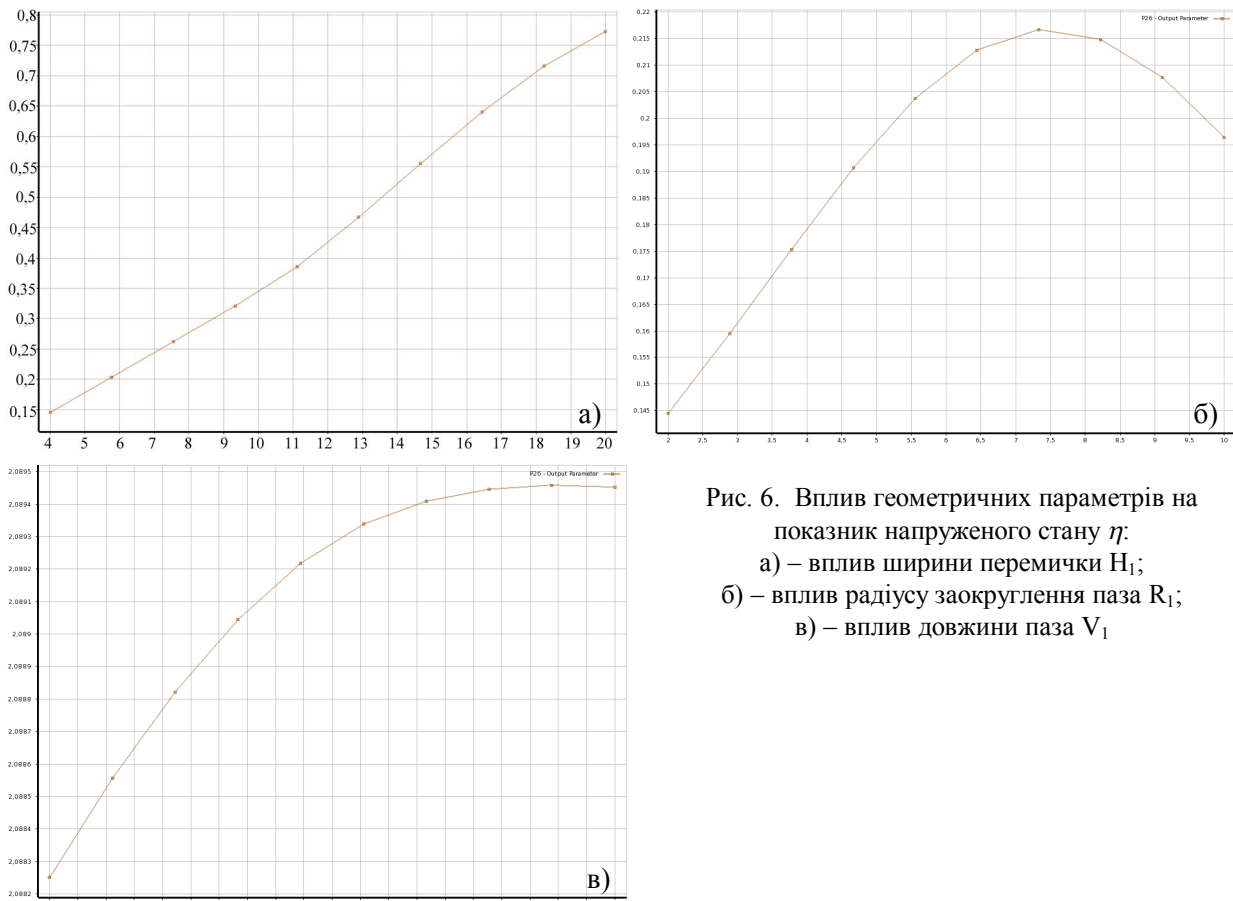


Рис. 6. Вплив геометричних параметрів на показник напруженого стану η :
 а) – вплив ширини перемички H_1 ;
 б) – вплив радіусу заокруглення паза R_1 ;
 в) – вплив довжини паза V_1

Як видно з рис. 6а та 7а збільшення ширини перемички призводить до зростання показників напружено-деформованого стану й подальшого відхилення від плоского напруженого стану.

Аналіз рис. 6б та 7б вказує, що кращими діапазонами значень є радіуси від 1 до 2,5 мм. Варто також зазначити, що зростання довжини паза (рис. 6в та 7в) до 20 мм підвищує показники напружено-деформованого стану, а подальше збільшення довжини паза на показники η та μ_σ впливу практично не має.

У результаті оптимізації розрахункових даних за цільовою функцією η для зразків з товщиною 1, 2, ... 6 мм отримано геометричні параметри і показники напружено-деформованого стану (таблиця 1).

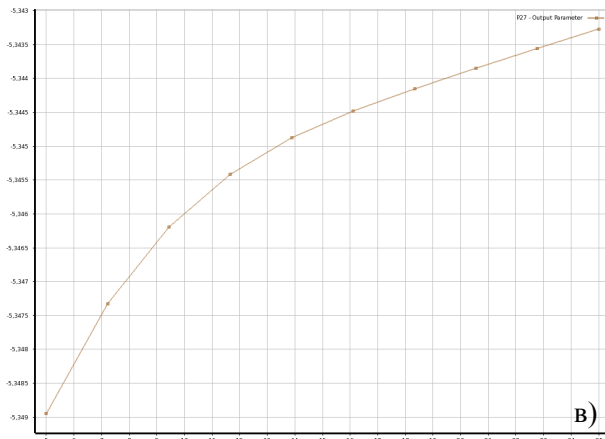
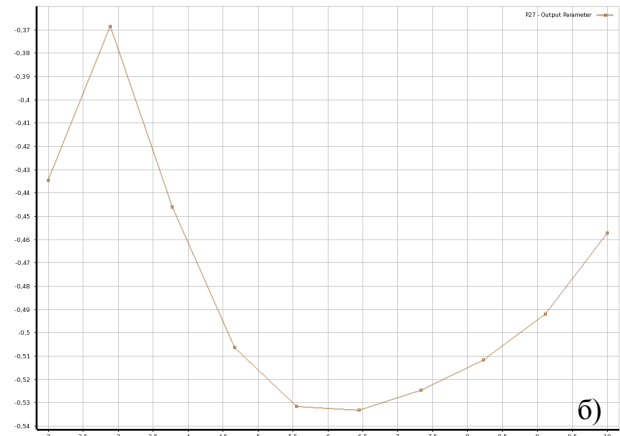
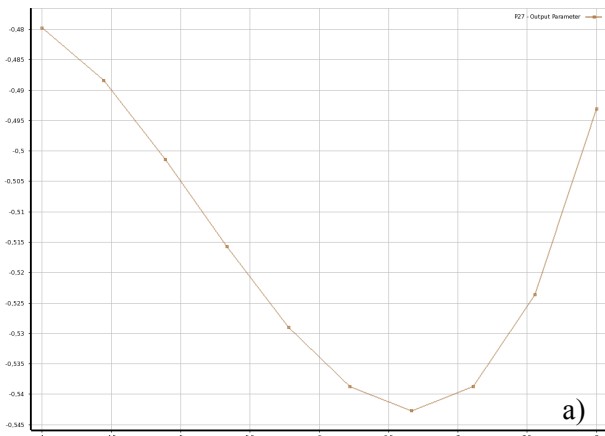


Рис. 7. Вплив геометричних параметрів на показник напруженого стану η :
 а) – вплив ширини перемички H_1 ;
 б) – вплив радіуса заокруглення паза R_1 ;
 в) – вплив довжини паза V_1

Таблиця 1

Геометричні характеристики та відповідні показники напружено-деформованого стану

Номер зразка	Довжина паза V_1 , мм	Подвійний радіус заокруглення паза R_1 , мм	Половина ширини перемички H_1 , мм	Показник η	Показник Надаї – Лоде μ_σ
1	2	3	4	5	6
Товщина зразка – 1 мм					
1	17,250	4,600	2,750	0,094	-0,428
2	15,090	4,494	2,619	0,095	-0,417
3	6,690	4,658	2,926	0,091	-0,435
1	2	3	4	5	6
Товщина зразка – 2 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,118	-0,358
2	16,53	4,037	2,355	0,127	-0,365
3	22,29	4,107	2,238	0,127	-0,371
Товщина зразка – 3 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,118	-0,357
2	16,53	4,037	2,355	0,126	-0,365
3	22,29	4,107	2,238	0,127	-0,370
Товщина зразка – 4 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,122	-0,371
2	22,29	4,107	2,238	0,127	-0,385
3	17,97	4,271	2,091	0,127	-0,385
Товщина зразка – 5 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,109	-0,350
2	22,29	4,107	2,238	0,117	-0,375
3	17,97	4,271	2,091	0,118	-0,371
Товщина зразка – 6 мм					
1	5,01	4,002	2,004	0,104	-0,323
2	16,53	4,037	2,355	0,109	-0,259
3	22,29	4,107	2,238	0,109	-0,277

Застосовуючи зразки із геометричними характеристиками, заданими в таблиці 1, та враховуючи поправку на відмінність умов деформування від плоского напруженого стану, можна отримати одну з ключових точок діаграми пластичності, що, у свою чергу, дозволяє оцінити можливості процесів пластичного деформування.

На основі аналізу результатів оптимізації, представлених в таблиці 1, видно, що доцільно проектувати зразки з шириною перемички 4 – 5 мм, радіусом заокруглення паза 2 – 2,5 мм та довжиною паза близько 5 мм.

Висновки

1. Розроблена конструкція зразків для випробувань листових матеріалів дозволяє оцінити граничну деформацію в умовах близьких до зсуву.

2. Для зменшення величини депланації зони вимірювання необхідно зменшити ширину робочої зони зразка.

3. Найкращими геометричними параметрами зразка, запропонованої конструкції, який забезпечує умови деформування близькі до зсуву, будуть: ширина перемички 4 – 5 мм, радіус заокруглення паза 2 – 2,5 мм, довжина паза – близько 5 мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородніков, В. А. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації / Огородніков В. А., Музичук В. І., Нахайчук О. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.

2. Огородніков, В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородніков В. А. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с.

3. Савуляк, В. В. Холодне формування заготовок з мінімальними радіусами кривизни з важкодеформівних листових матеріалів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.05 «Процеси та машини обробки тиском» / В. В. Савуляк. – Вінниця, 2007. – 21 с.

Писаренко Віктор Григорович – д. т. н., начальник КНВО "ФОРТ".

Казенне науково-виробниче об'єднання "Форт".

Савуляк Віктор Валерійович – к. т. н., доцент, доцент кафедри технології та автоматизації машинобудування.

Билічкіна Вікторія Євгенівна – студент інституту машинобудування та транспорту.

Вінницький національний технічний університет.