

Писаренко В. Г.*,
Савуляк В. В.**,
Билічкіна В. Є.**

Казенне науково-виробниче об'єднання
"Форт"; м. Вінниця, Україна
**Вінницький національний технічний уні-
верситет, Україна

ВПЛИВ РІЗНОТОВЩИННОСТІ ЛИСТОВИХ ЗРАЗКІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗТЯГ НА ПОВЕРХНЮ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

УДК 621.7.01

В статті проаналізовано вплив геометричних характеристик листових зразків на показники напружено-деформованого стану в зоні вимірювання під час випробувань на розтяг. Встановлено, що на неоднорідність величини показників напруженого стану в зоні вимірювання під час випробувань на розтяг найбільший вплив має різнотовщинність та товщина листа. Визначено величину відхилень показників напруженого стану від геометричних параметрів листа.

Ключові слова: напруження, деформації, листовий матеріал, випробування на розтяг, плоский напружений стан, поверхня граничних деформацій.

Постановка задачі

Застосування ресурсощадних методів і способів обробки тиском потребує відомостей про технологічну можливість виготовлення виробів. Таку інформацію можна отримати на основі проведення теоретично-експериментальних досліджень та розрахунків або експериментальним шляхом - розглянувши та протестувавши різноманітні варіанти технології. У випадку експериментального вирішення задачі кількість варіантів, які потрібно розглянути, дуже велика, що підвищує вартість розробки технології. В зв'язку з цим широкого розповсюдження набув теоретично-експериментальний метод розробки технології виготовлення виробів. Висновок про можливість отримання того чи іншого виробу методами пластичної деформації здійснюється на основі критерію Ψ запропонований в роботах Губкіна, Смирнова-Аляєва, Дея, Огороднікова та інших авторів [1]. Розрахунок використаного ресурсу пластичності, в загальному випадку, можна проводити за формулою [2, 3]

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

де e_p – гранична деформація до руйнування; e_i – інтенсивність деформацій; $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ – поверхня граничних деформацій;

$n = 1 + a \frac{d\eta}{de_i} - b \frac{d\mu_\sigma}{de_i}$ – показник, який враховує характер зміни пластичності в залежності від швидкості зміни жорсткості та виду напруженого стану;

$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_1}$ – показник жорсткості напруженого стану;

$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ – параметр Надаї-Лоде; a і b – емпіричні коефіцієнти, які, наприклад, для сталі 10 і алюмінію АД-1 дорівнюють $a = 0,05$, $b = 0,03$.

З виразу (1) видно, що істотний вплив на точність визначення використаного ресурсу пластичності має поверхня граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ побудована в безрозмірних координатах - жорсткість напруженого стану η - показник виду напруженого стану (показник Надаї-Лоде) μ_σ . Згідно методики [3] поверхня граничних деформацій будується на основі відповідної апроксимації даних отриманих в результаті дослідів на розтяг, стиск і кручення (зсув)

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = e_p(0,0) \cdot \exp(\lambda_2 \mu_\sigma - \lambda_1 \eta), \quad (2)$$

де $\lambda_1 = \ln \frac{e_p(-1,0)}{e_p(0,0)}$, $\lambda_2 = \ln \frac{e_p(0,1)}{e_p(0,0)}$ та $e_p(0,0)$, $e_p(-1,0)$ і $e_p(0,1)$ - граничні деформації

при відповідних значеннях η та μ_σ .

В роботі [3] показано зв'язок параметрів λ_1 , λ_2 і λ та приведено методику визначення λ_1 та λ_2 за відомим λ

$$\lambda = \ln \frac{e_p(1,1)}{e_p(0,0)}, \quad (3)$$

де $e_p(1,1)$ – гранична деформація при $\eta = 1$ і $\mu_\sigma = 1$.

Необхідно також відмітити, що більш достовірну залежність $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ можна отримати на основі дослідів в камері високого тиску [2, 3].

З (2) і (3) слідує, що точне визначення граничних деформацій розтягу має суттєвий вплив на діаграму пластичності і, відповідно, на розрахунок використаного ресурсу пластичності.

В цій роботі проводиться аналіз впливу геометричних характеристик листових зразків для випробувань на розтяг на показники напруженого стану в зоні вимірювання.

Напружений стан зразка під час випробувань на розтяг

Методика проведення випробувань на розтяг передбачає вирізування зразків із листового матеріалу вздовж, поперек і під кутом 45° до напрямку прокатування [2].

В державних стандартах [4, 5] для визначення граничної деформації листового матеріалу на розтяг пропонуються два види зразків (рисунок 1). В обох випадках визначення граничної деформації відбувається в зоні, що має вигляд паралелепіпеда. Це дозволяє забезпечувати умови деформування близькі до чистого одноосового розтягу. Водночас, внаслідок нестабільних умов прокатування листа його товщина є змінною в різних перерізах, але змінюється плавно - радіус кривизни поверхні не може бути меншим від радіуса останньої пари валків прокатного стану. Відповідно до цих міркувань можна розглянути три основних випадки впливу різновтовщинності та геометричних особливостей листа на показники напруженого стану зразка на розтяг (рисунок 2). Випадок, коли товщина листа більша від номінальної не будемо розглядати, оскільки за умови рівної міцності матеріалу руйнування зразка в зоні потовщення не відбуватиметься.



Рис. 1 – Конструкції зразків для випробувань листових матеріалів на розтяг

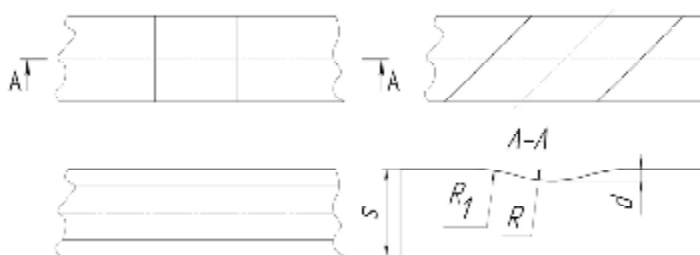


Рис. 2 – Відносне розташування різновтовщинності та геометричні параметри робочої зони зразка

На основі вище розглянутих міркувань за допомогою програмних засобів CAD/CAE Ansys було побудовано модель з наступними параметрами: матеріал зразка - сталь У12А (крива зміцнення апроксимована виразом $\sigma_i = 1205 \cdot e_i^{0,262}$; сумарна величина переміщення країв робочої зони до моменту руйнування становить 16% довжини робочої зони; товщина листа s від 0,35 до 5 мм згідно ГОСТ 19904-90 [6]; різновтовщинність листа d від 0,04 до 0,2 мм згідно [4, 5] для нормальної точності листа; радіуси заокруглень листа R і R_1 відповідають радіусам прокатних валків згідно ГОСТ 5399-69 в межах від 75 до 1250 мм; кут між напрямком прокатування та віссю зразка α змінювався від 0 до 90° ; ширина робочої зони зразка приймалась рівною 60 мм для всіх випадків). В результаті проведених розрахунків отримано

граничні значення (табл. 1) та характерні залежності показників напруженого стану від геометричних характеристик зразка (рис. 3 - 7).

З рис. 3 - 7 випливає, що кривизна поверхні листа, яка визначається технологією виготовлення, в зоні дослідження практично не впливає на показники напруженого стану і відтак її впливом можна нехтувати. Разом з тим, основними факторами, які впливають на розкид показників є товщина листа s , кут α між напрямком прокатки листа та віссю зразка та величина різновтовщинності листа d , яка обмежується державних стандартів [4, 5]. З рис. 5 слідує, що збільшення кута між напрямком прокатування листа і віссю зразка призводить до суттєвого збільшення розкиду показників напруженого стану. На противагу до цього зростання товщини листа спричиняє зменшення допуску показників напруженого стану (рис.6), а зростання різновтовщинності листа сприяє лише невеликому збільшенню розкиду параметрів (рис.7).

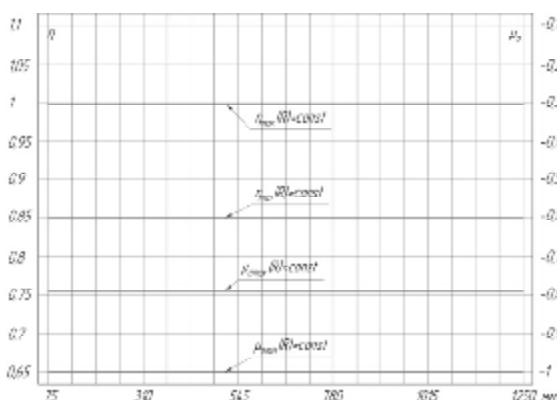


Рис. 3 – Характер впливу радіуса останньої пари прокатних валків R на мінімальні та максимальні значення показників напруженого стану в зоні вимірювання

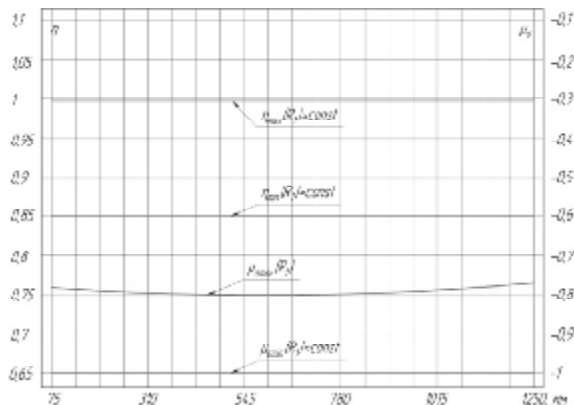


Рис. 4 – Характер впливу радіуса кривизни R , поверхні зразка на мінімальні та максимальні значення показників напруженого стану в зоні вимірювання

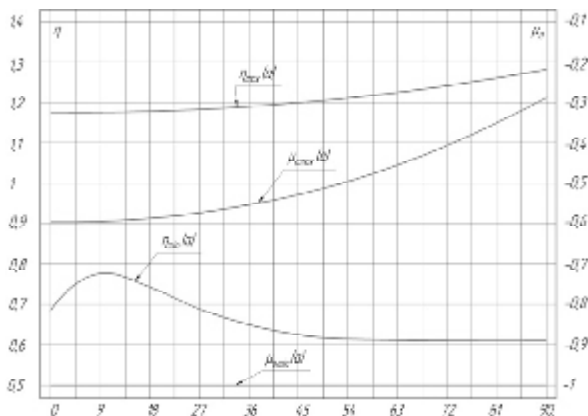


Рис. 5 – Характер впливу кута між напрямком прокатування і віссю зразка α на мінімальні та максимальні значення показників напруженого стану в зоні вимірювання

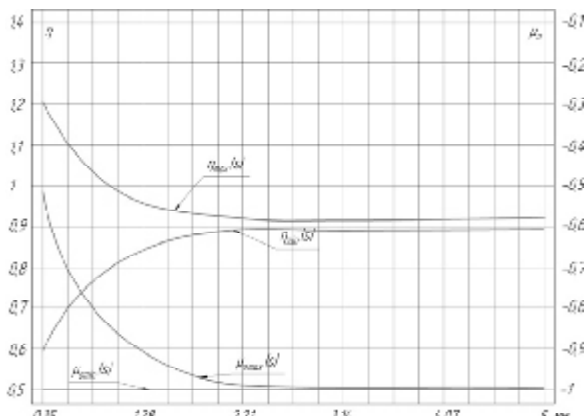


Рис. 6 – Характер впливу товщини листа s на мінімальні та максимальні значення показників напруженого стану в зоні вимірювання

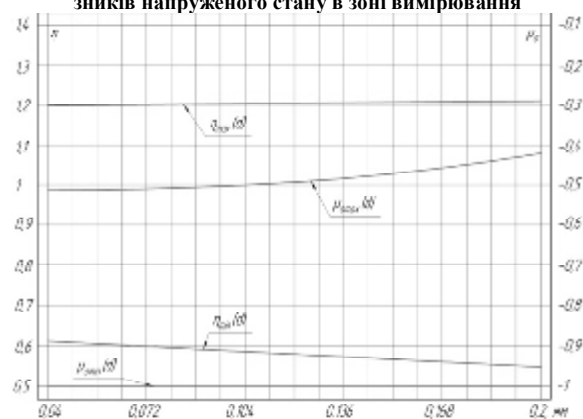


Рис. 7 – Характер впливу величини різновтовщинності листа d на мінімальні та максимальні значення показників напруженого стану в зоні вимірювання

У нашому випадку навантаження є монотонним, тому можна вважати, що в процесі розтягування показники напруженого стану та інтенсивність деформації змінюються плавно за законом близьким до лінійного.

Розглянемо випадок руйнування зразка, що випробовується на розтяг. Оскільки поверхня $e_p(h, \mu_\sigma)$ не залежить від інтенсивності деформацій, після перетворень (1) з урахуванням (2) та (3) отримаємо

$$e_p(1,1) = -\frac{e_p(0,0)}{\eta} \cdot \ln \frac{e_p^*}{e_p(0,0)}, \quad (4)$$

$$\ln(e_p(0,1)) = \frac{\eta}{\mu_\sigma} \ln(e_p(-1,0)) + [\ln e_p^* - \ln(e_p(0,0)) \cdot (1 - \mu_\sigma + \eta)], \quad (5)$$

де e_p^* - деформація руйнування зразка під час випробувань на розтяг.

Таблиця 1

Граничні значення показників напруженого стану для різної товщини листа

Товщина листа s , мм	Гранична різнотовщинність d , мм	η_{\min}	η_{\max}	$\eta_{\max} - \eta_{\min}$	$(\mu_\sigma)_{\min}$	$(\mu_\sigma)_{\max}$	$(\mu_\sigma)_{\max} - (\mu_\sigma)_{\min}$	d/s
0,35	0,04	0,600	1,282	0,682	-1,000	-0,190	0,810	0,114
0,4	0,04	0,628	1,257	0,629	-1,000	-0,286	0,714	0,100
0,45	0,05	0,649	1,235	0,586	-1,000	-0,353	0,647	0,111
0,5	0,05	0,671	1,214	0,543	-1,000	-0,411	0,589	0,100
0,55	0,06	0,688	1,196	0,508	-1,000	-0,455	0,545	0,109
0,6	0,06	0,706	1,178	0,472	-1,000	-0,497	0,503	0,100
0,65	0,06	0,722	1,161	0,439	-1,000	-0,532	0,468	0,092
0,7	0,08	0,731	1,149	0,418	-1,000	-0,557	0,443	0,114
0,75	0,08	0,745	1,135	0,390	-1,000	-0,584	0,416	0,107
0,8	0,08	0,757	1,122	0,365	-1,000	-0,609	0,391	0,100
0,9	0,08	0,779	1,098	0,319	-1,000	-0,651	0,349	0,089
1	0,1	0,790	1,081	0,291	-1,000	-0,677	0,323	0,100
1,1	0,1	0,805	1,063	0,258	-1,000	-0,705	0,295	0,091
1,2	0,1	0,818	1,048	0,230	-1,000	-0,727	0,273	0,083
1,3	0,1	0,828	1,035	0,207	-1,000	-0,745	0,255	0,077
1,4	0,1	0,836	1,023	0,187	-1,000	-0,760	0,240	0,071
1,5	0,12	0,837	1,016	0,179	-1,000	-0,764	0,236	0,080
1,6	0,14	0,837	1,010	0,173	-1,000	-0,765	0,235	0,088
1,7	0,14	0,842	1,003	0,161	-1,000	-0,773	0,227	0,082
1,8	0,14	0,846	0,996	0,150	-1,000	-0,780	0,220	0,078
2	0,15	0,849	0,988	0,139	-1,000	-0,784	0,216	0,075
2,2	0,17	0,846	0,983	0,137	-1,000	-0,779	0,221	0,077
2,5	0,17	0,850	0,977	0,127	-1,000	-0,785	0,215	0,068
2,8	0,18	0,849	0,975	0,126	-1,000	-0,781	0,219	0,064
3	0,18	0,849	0,974	0,125	-1,000	-0,782	0,218	0,060
3,2	0,19	0,847	0,975	0,128	-1,000	-0,776	0,224	0,059
3,5	0,2	0,844	0,977	0,133	-1,000	-0,769	0,231	0,057
3,8	0,2	0,845	0,978	0,133	-1,000	-0,769	0,231	0,053
3,9	0,2	0,845	0,979	0,134	-1,000	-0,770	0,230	0,051
4	0,2	0,845	0,980	0,135	-1,000	-0,770	0,230	0,050
4,2	0,2	0,845	0,981	0,136	-1,000	-0,770	0,230	0,048
4,5	0,2	0,845	0,983	0,138	-1,000	-0,770	0,230	0,044
4,8	0,2	0,845	0,986	0,141	-1,000	-0,770	0,230	0,042
5	0,2	0,845	0,987	0,142	-1,000	-0,771	0,229	0,040

В роботі [7] вказано, що параметри I_1 , I_2 і I лінійно залежні, тобто можна представити у вигляді $\lambda_1 = k_1 \cdot \lambda$ і $\lambda_2 = k_2 \cdot \lambda$, де k_1 і k_2 коефіцієнти ($k_1 \approx 0,51$, $k_2 \approx 0,44$ згідно [7]). З урахуванням (2), (3), (4) та (5) запишемо

$$e_p(-1,0) = \frac{[e_p(1,1)]^{k_1}}{[e_p(0,0)]^{k_1-1}}, \quad (6)$$

$$e_p(0,1) = [e_p(-1,0)]^{\eta/\mu_\sigma} \frac{e_p^*}{[e_p(0,0)]^{1-\mu_\sigma+\eta}}. \quad (7)$$

Підставляючи граничні значення h і μ_σ у вирази (4), (6) та (7) отримаємо діапазони в яких знаходяться істинні значення граничних деформацій $e_p(1,1)$, $e_p(0,1)$ та $e_p(-1,0)$. Підставивши отримані значення у вираз (2) отримаємо скориговану поверхню граничних деформацій, що дозволяє підвищити точність розрахунків, врахувати вплив різновтовщинності листа на технологічні процеси та визначити обмеження технологій виготовлення.

Висновки

В роботі запропонований підхід до врахування впливу різновтовщинності листа на елементи поверхні граничних деформацій під час випробувань на розтяг. Встановлено залежності та граничні значення показників напруженого стану для тонколистових металевих матеріалів. Отримано коригувальні залежності граничних деформацій з урахуванням різновтовщинності листа.

Література

1. Огородніков, В. А. Механіка процесів холодного формозмінювання з одностипними схемами механізму деформації: [текст] / В. А. Огородніков, В. І. Музичук, О. В. Нахайчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.
2. Огородніков, В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением: [текст] / В. А. Огородніков. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с.
3. Сивак, І. О. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии: [текст] / И. О. Сивак, Е. И. Коцюбовская // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні: Тематичний зб. наук. пр. – Краматорськ-Хмельницький, 2007. – с. 73-76.
4. ГОСТ 11701-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент. - 15 с.
5. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. - 28 с.
6. ГОСТ 19904-90. Прокат листовой холоднокатанной. Сортамент. - 11 с.
7. Сивак, Р. И. Пластичность металлов при сложном нагружении: [текст] / Р. И. Сивак, И. О. Сивак // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія Машинобудування, 2010. - №60. - с. 129 - 132.

Надійшла в редакцію 28.11.2014

Pisarenko V.G., Savulyak V.V., Bylichkina V.E. **Influence of different thickness of sheet standards is for tests on stretch on surface of maximum deformations.**

In the article influence of geometrical descriptions of sheet standards is analysed on indexes tensely deformed to consisting of area of measuring during tests on a stretch. It is set that on heterogeneity of size of indexes of the tense consisting of area of measuring during tests on a stretch the different thickness of letter has a most influence. Certainly size of rejections of indexes of the tense state from the geometrical parameters of letter.

Key words: tension, deformations, sheet material, tests, on a stretch, flat tense state, surface of maximum deformations.

References

1. Ogorodnikov, V. A. Mehanika protsesiv holodnogo formozminyuvannya z odnotipnimi shemami mehanizmu deformatsiyi: [tekst] , V. A. Ogorodnikov, V. I. Muzichuk, O. V. Nahaychuk. – Vinnitsya: UNIVERSUM-Vinnitsya, 2007. – 179 p.
2. Ogorodnikov, V. A. Otsenka deformiruemosti metallov pri obrabotke davleniem: [tekst] , V. A. Ogorodnikov.– K.: Vishcha shkola, 1983. – 175 p.
3. Sivak, I. O. Plastichnost metallov pri obemnom napryazhenom sostoyanii: [tekst] , I. O. Sivak, E. I. Kotsyubivskaya , Udoskonalennya protsesiv i obladnannya obrobki metaliv tiskom v meta-lurgiyi i mashinobuduvanni: Tematichniy zb. nauk. pr. – Kramatorsk-Hmel'nitskiy, 2007. – p. 73-76.
4. GOST 11701-84. Metally. Metody ispytaniy na rastyazhenie tonkih listov i lent. - 15 p.
5. GOST 1497-84. Metally. Metody ispytaniy na rastyazhenie. - 28 p.
6. GOST 19904-90. Prokat listovoy holodnokatannyy. Sortament. - 11 p.
7. Sivak, R. I. Plastichnost metallov pri slozhnom nagruzhennii: [tekst] , R. I. Sivak, I. O. Sivak , Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu Ukrayini "Kiyivskiy politehnicniy insti-tut". Seriya Mashinobuduvannya, 2010. – N 60. - p. 129 - 132.