

УДК: 621.7.01

В.В. Савуляк, В.Г. Писаренко, Р.О. Мордач, М.О. Мордач

Вінницький національний технічний університет

ОЦІНКА РОЗСІЮВАННЯ ЗНАЧЕННЯ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ  
ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ТИСКОМ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

*Отримано залежність діапазону розкиду значень використаного ресурсу пластичності від похибки визначення граничних деформацій зсуву і розтягу, встановлена лінійна залежність між розсіюванням значень граничних деформацій та розсіюванням значень використаного ресурсу пластичності.*

*Ключові слова:* деформація, ресурс пластичності, крива граничних деформацій, ймовірність.

В.В. Савуляк, В.Г. Писаренко, Р.А. Мордач, М.А. Мордач

ОЦЕНКА РАССЕЙЯНИЯ ЗНАЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАННОГО РЕСУРСА  
ПЛАСТИЧНОСТИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ ЛИСТОВЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

*Получена зависимость диапазона разброса значений использованного ресурса пластичности от погрешности определения предельных деформаций сдвига и растяжения, установленная линейная зависимость между рассеиванием значений предельных деформаций и рассеиванием значений использованного ресурса пластичности.*

*Ключевые слова:* деформация, ресурс пластичности, кривая предельных деформаций, вероятность.

V.V. Savulyak, V.G. Pisarenko, R.A. Mordach, M.A. Mordach

EVALYATE DISPERSION VALUES WERE USED PLACTICITY RESOURCE FOR  
THE PROCESSE OF TREATING PRESSURE SHEET MATERIALS

*The dependence of the values of the variation range of used resource of plasticity of the error in determining ultimate strains and shear strains, established a linear relationship between the dispersion values of limit deformation and scattering values of used resource of plasticity.*

*Keywords:* deformation, resource plasticity, deformation curves, probability.

**Постановка проблеми.** Для розробки технологічних процесів обробки тиском необхідно мати інформацію про можливість досягнення шляхом формозміни заготовки кінцевого результату – виробу. Таку інформацію можна отримати на основі проведення теоретико-експериментальних досліджень та розрахунків або експериментальним шляхом – розглянувши та протестувавши різноманітні варіанти технології. Експериментальному вирішенню задачі притаманні класичні недоліки: суттєве здорожчання розробки технології через необхідність виготовлення різного за характеристиками інструменту та значну кількість випробувань; складність підбору оптимальних параметрів процесу тощо. Теоретично-експериментальний шлях досліджень дозволяє поєднати в собі характеристики реального матеріалу, отримані експериментальним шляхом, та теоретичні викладки, які дозволяють мінімізувати експериментальну складову дослідження.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Широкого розповсюдження набула феноменологічна теорія обробки тиском. Висновок про можливість отримання того чи іншого виробу методами пластичної деформації здійснюється на основі критерію  $\psi$ , який розглянутий в роботах Губіна С. І., Смирнова-Аляєва Г. А., Колмогорова В. Л., Деля Г. Д., Огороднікова В. А. та інших авторів. За цим критерієм можливість отримання заготовок з конкретного матеріалу, заданої геометрії та розмірів залежить від ступеню використання ресурсу пластичності під час обробки тиском.

**Постановка завдань.** В роботі поставлено мету - отримати залежність діапазону розкиду значень використаного ресурсу пластичності від похибки визначення граничних деформацій зсуву і розтягу, встановити залежність між розсіюванням значень граничних деформацій та розсіюванням значень використаного ресурсу пластичності.

**Викладення основного матеріалу.** В спрощеному вигляді використаний ресурс пластичності визначається за формулою [1]

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

де  $e_p$  – гранична деформація до руйнування;  $e_i$  – інтенсивність деформацій;  $e_p(\eta)$  – крива граничних деформацій;  $n = 1 + a \frac{d\eta}{de_i}$  – показник, який враховує характер зміни пластичності в залежності від швидкості зміни жорсткості ( $a$  – емпіричний коефіцієнт, дорівнює 0,2).

Крива граничних деформацій може бути апроксимована [2]:

$$e_p(\eta) = e_p(0) \cdot e^{(-\lambda\eta)}, \quad (2)$$

де  $\lambda = \ln \frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)}$  та  $e_p(0)$  і  $e_p(1)$  – граничні деформації при відповідних значеннях  $\eta$

(приймають, що  $e_p(0)$  відповідає граничній деформації кручення (зсуву), а  $e_p(1)$  – розтягу).

Визначення експериментальних значень граничної деформації матеріалу здійснюється шляхом випробувань. Для об'ємних металевих виробів стандартами передбачені типові зразки для випробувань на розтяг, стиск і зсув. Для листових матеріалів розроблені лише зразки для випробувань на розтяг. Неточність визначення граничних деформацій та побудови відповідної кривої можна віднести до дефектів або браку. Згідно з теорією японського вченого К. Ісікави, головним джерелом невідповідності (браку) є такі елементи: матеріал; обладнання; метод; середовище; персонал.

Розглянемо основні фактори, що впливають на розсіювання значення граничної деформації під час випробувань.

Матеріал – неомогенність структурного і фазового складу матеріалу, зернистість, переважний напрям орієнтації зерен, наявність порожнин, пор, мікротріщин, дефектів та інших факторів, кількість та розподіл яких по об'єму металу є величиною випадковою.

Машина – нежорсткість обладнання спричиняє додаткові зміщення та похибки у плавності та стабільності навантаження, що призводить до відхилення від статичних умов випробування.

Метод – за рахунок геометричної неточності зразків, змінності умов навантаження та похибок, пов'язаних з фіксацією початку руйнування, реальні умови експерименту відрізняються від номінальних.

Середовище – в переважній більшості випадків зовнішнє середовище в лабораторних та заводських умовах не здійснює суттєвого впливу на результати дослідження матеріалу за умови стабільної температури.

Персонал – суб'єктивність прийняття рішень та фіксації значень персоналом усувається застосуванням автоматизованого вимірювального комплексу.

Контроль – здійснюється вимірювальним інструментом після ідентифікації міток на зразках. Відповідно похибки, пов'язані з ідентифікацією та вимірюванням, переносяться на результати експериментальних значень.

Похибки, спричинені середовищем, обладнанням, персоналом та методами контролю можна віднести до систематичних та усунути їх. Таким чином залишається дві основні групи факторів, що впливають на розсіювання значень граничних деформацій – матеріал і метод.

На основі проведеного вище загального аналізу виділимо основні причини розсіювання значень граничних деформацій.

1. Складність отримання номінальних параметрів в процесі випробування (під номінальним параметром мається на увазі контрольовані величини, які очікується досягнути в процесі експерименту – показники напруженого стану).

2. Аналітичні залежності, які застосовують для апроксимації кривих граничної деформації мають обмежену область застосування і недостатньо добре співпадають на границях зони використання.

3. Реальний матеріал містить різноманітні вклучення та має неоднаковий та нерівномірний розподіл пошкоджень, що призводить до різної пластичності для окремих зразків, що не враховується при усередненні, але впливає на можливість отримання виробів пластичним деформуванням.

4. Неоднакова величина пластичного деформування матеріалу в процесі виготовлення напівфабрикату призводить до неоднакової міцності різних ділянок зразків і спричиняє відмінність показників напруженого стану від їх номінальних значень.

5. Неоднорідність структури є наслідком нерівномірного охолодження і деформації металу в процесі виготовлення та спричиняє різну пластичність окремих зон матеріалу, різну міцність.

6. Геометричні параметри експериментальних зразків відрізняються від номінальних параметрів.

7. В процесі випробувань зразків на розтяг в робочій зоні зразка утворюються шийка, яка спотворює показники напруженого стану та змінює траєкторію деформування, що призводить до неточності визначення граничної деформації на розтяг.

8. Відсутні стандартизовані зразки для випробувань листових матеріалів на зсув та стиск, які б дозволяли отримувати величину граничних деформацій в умовах, близьких до чистого зсуву та стиску.

В роботах [3, 4, 5] відмічено відхилення параметрів напруженого стану в зразках під час випробувань від номінальних значень та вказано, що в залежності від геометричних характеристик листових зразків величина розсіювання показників напруженого стану становить до 25% і вказує на можливість розсіювання реальних значень граничної деформації листових матеріалів під час обробки тиском.

Для оцінки впливу точності визначення кривої деформації на використаний ресурс пластичності проведемо оцінювальний розрахунок для умовного процесу холодного пластичного деформування заготовки зі сталі 20. В [6, 7] для сталі 20 вказані усереднені значення граничної деформації розтягу і зсуву та середньоквадратичні відхилення результатів експериментів, відповідно до яких варіація значень граничних деформацій становить близько  $\pm 18\%$  відносно усередненої величини.

Для оцінювання впливу розсіювання значень граничних деформацій на розрахункову величину використаного ресурсу пластичності розглядалися комбінації крайніх точок граничної деформації розтягу і зсуву (комбінації розрахункових точок для апроксимації кривої граничних деформацій –  $(e_{\min}^{\text{розтяг}}; e_{\min}^{\text{зсув}})$ ,  $(e_{\max}^{\text{розтяг}}; e_{\min}^{\text{зсув}})$ ,  $(e_{\min}^{\text{розтяг}}; e_{\max}^{\text{зсув}})$  і  $(e_{\max}^{\text{розтяг}}; e_{\max}^{\text{зсув}})$ ) (рисунок 1). Для розглянутих кривих варіація значень  $\delta$  приймалась:  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 15\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 25\%$ ,  $\pm 30\%$ .

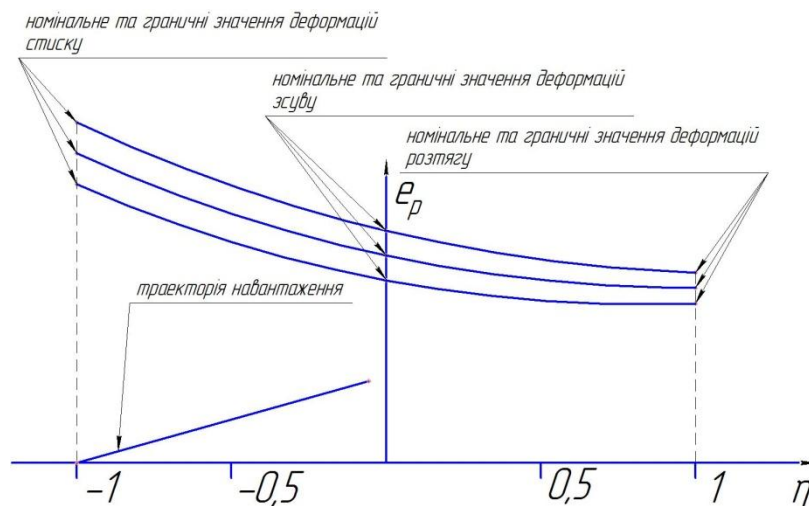


Рис. 1. – Крайні та усереднена криві граничної деформації сталі 20 та умовна траєкторія навантаження

Оскільки системні фактори, які впливають на розсіювання значень граничної деформації, є ідентичними, то приймали, що варіація граничних деформацій розтягу і зсуву однакова.

В якості умовної траєкторії навантаження приймалась пряма, що проходить між точками з координатами  $(e_{u1}=0; \eta_1=-1)$  та  $(e_{u2}; \eta_2)$ . Розрахунок використаного ресурсу пластичності та апроксимацію кривої граничних деформацій виконували за виразами (1) та (2).

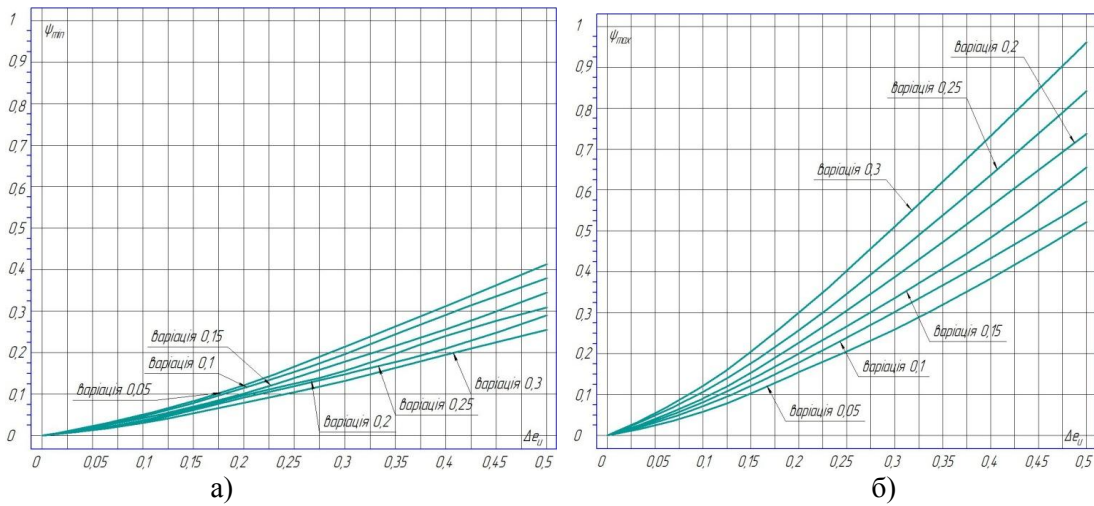


Рис. 2. – Залежність використаного ресурсу пластичності  $\psi$  від різниці інтенсивностей деформацій в кінцевій і початковій точках:  
 а – мінімальне значення  $\psi$ ; б – максимальне значення  $\psi$

Результати розрахунку представлені у вигляді залежностей, приведених на рисунках 2 – 5.

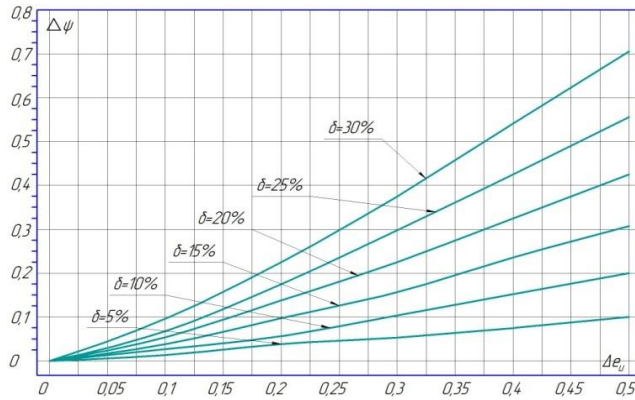


Рис. 3. – Залежність розсіювання використаного ресурсу пластичності  $\Delta\psi$  від різниці інтенсивностей деформацій в кінцевій і початковій точках

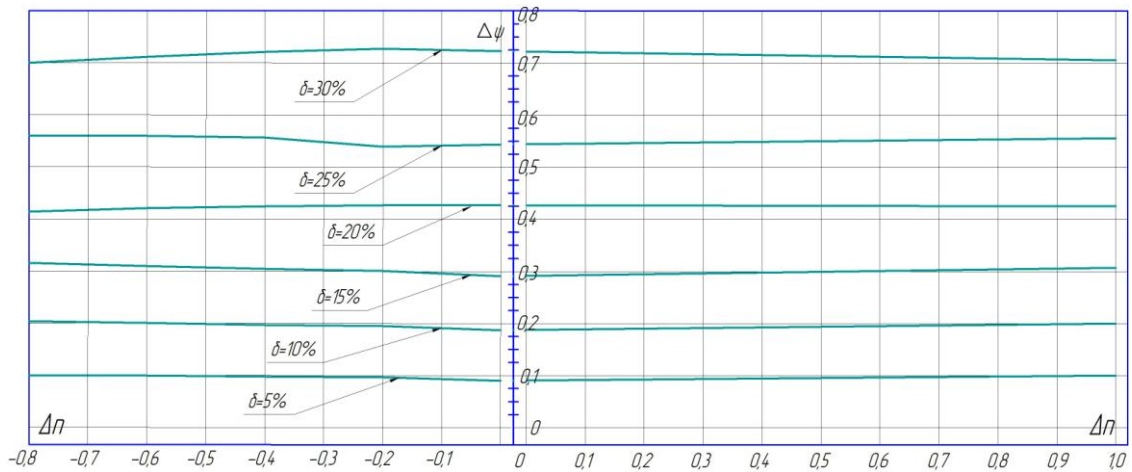


Рис. 4. – Залежність розсіювання використаного ресурсу пластичності  $\Delta\psi$  від різниці показників напруженого стану  $\Delta\sigma$

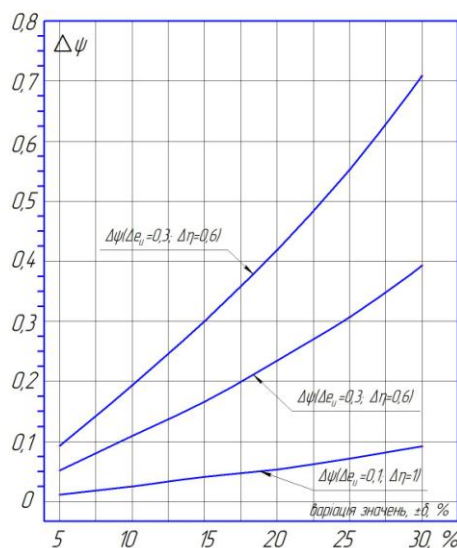


Рис. 5. – Залежність використаного ресурсу пластичності  $\Delta\psi$  від величини варіації значень кривої граничних деформацій

Як слідує з рисунка 5 розсіювання значень використаного ресурсу пластичності прямо пропорційне до варіації граничних деформацій та істотно зростає при збільшенні крутизни підйому траєкторії навантаження. За умови значних деформацій вже при величині варіації близько 10% встановити адекватне значення використаного ресурсу пластичності неможливо. Отже, якщо в результаті експериментів на визначення граничної деформації зсуву, розтягу чи стиску розкид значень відносно математичного очікування перевищує 10%, то не можна робити однозначний висновок про можливість виготовлення деталі методами холодної пластичної деформації. З цього випливає, що під час проектування технології виготовлення виробів зі значною локалізацією деформацій та високим рівнем використання ресурсу пластичності слід застосовувати ймовірнісні підходи для визначення кількості можливого браку.

#### ВИСНОВКИ

1. Величина похибки розрахунку використаного ресурсу пластичності прямо пропорційно залежить від варіації значень граничних деформацій.
2. Збільшення інтенсивності деформацій призводить до збільшення розсіювання значень використаного ресурсу пластичності, в той же час різниця показників напруженого стану в початковій і кінцевій точці траєкторії навантаження практично не впливає на розкид значень використаного ресурсу пластичності.
3. Збільшення крутизни підйому траєкторії навантаження призводить до суттєвого збільшення розсіювання значень використаного ресурсу пластичності.
4. При величині розсіювання значень граничних деформацій понад 10% не можна провести адекватну теоретичну оцінку можливості виготовлення не бракованої продукції методами холодної пластичної деформації за умов значної формозміни.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Огородніков, В. А. Механіка процесів холодного формозмінювання з однопітними схемами механізму деформації: [текст] / В. А. Огородніков, В. І. Музичук, О. В. Нахайчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.
2. Сивак, І. О. Пластичність металів при об'ємному напруженому стані: [текст] / І. О. Сивак, Е. І. Коцюбівська // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні: Тематичний зб. наук. пр. – Краматорськ-Хмельницький, 2007. – с. 73-76.
3. Писаренко В. Г. Зразки для випробувань листових металевих матеріалів на зсув. [Електронний ресурс] / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк, В. Є. Билічкіна. // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. - Вінниця, 2014. - Вип. 1. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV\\_2014\\_1\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV_2014_1_13)
4. Писаренко В. Г. Вплив різновіщинності листових зразків для випробувань на розтяг на поверхню граничних деформацій [Електронний ресурс] / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк, В. Є. Билічкіна // Проблеми трибології. - Вінниця, 2014. - №4. - С. 106-111. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl\\_2014\\_4\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2014_4_18)
5. Писаренко В. Г. Вплив різновіщинності листових зразків для випробувань на розтяг на розкид значень результатів експериментів [текст] / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". - Луцьк, 2015. - №50. - С. 154-158.
6. Колмогоров, В.Л.. Напряжения, деформации, разрушение: [текст] / В. Л. Колмогоров. – Л.: «Металлургия», 1970, – с. 229.
7. Огородніков, В.А. Параметры модели, формирующей карту материала в процессах обработки давлением: [текст] / Огородніков В. А., Алиева Л. И., Кожушаный В. М. Деревенько И. А. // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2011. – №1(26) –С. 91-98.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2016.