

УДК 621.7.043

Я.А. Огрудков, І.М. Максимів, М.О. Застеба, М.В. Орлюк
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Використання критеріїв руйнування програмного комплексу DEFORM для аналізу процесів витягування

Сучасне виробництво в машинобудуванні нерозривно пов'язане з використанням програмних комплексів, які дозволяють оптимізувати виробничий процес як на стадії проектування, так і безпосередньо на стадії виробництва.

При розробці технологічних процесів обробки металів тиском також широко використовуються різноманітні комп'ютерні системи (DEFORM, QForm, та ін.), які у своїй більшості базуються на методі скінчених елементів. Проте головна проблема використання таких систем – відсутність механізму відтворення процесу руйнування матеріалу при перевищенні допустимих ступенів деформації за даної схеми напруженого стану.

Тому при моделюванні процесів, які на практиці закінчуються руйнуванням матеріалу, що деформується, руйнування або відсутнє, або процес руйнування при моделюванні (рис. 1а) не відповідає реальному характеру руйнування матеріалу (рис. 1б, в).

409



Рис. 1. Руйнування листового матеріалу при витягуванні:

а) при моделюванні в Deform; б, в) за результатами натурального експерименту

Це суттєво ускладнює оптимізацію технологічних процесів та призводить до періодичної появи результатів моделювання, які суперечать теоретичним дослідженням та практичним рекомендаціям. Так у роботі [1] при моделюванні процесу витягування отримано коефіцієнт витягування 0,32, хоча теоретичний коефіцієнт витягування (без урахування впливу тертя, згину заготовки на радіусних кромках витяжного інструменту та зміцнення матеріалу в процесі деформування) становить 0,37 [2], а рекомендовані коефіцієнти витягування більші за 0,46...0,5 [3].

Для прогнозування моменту руйнування матеріалу в процесі моделювання використовується критерій руйнування. Досягнення критерієм критичних значень при моделюванні сигналізує про високу ймовірність руйнування матеріалу в реальному процесі деформування. Але програмні комплекси, наприклад DEFORM, пропонують велику кількість різноманітних критеріїв руйнування [4] за відсутності критичних значень цих критеріїв для формозмінних операції з різними схемами напруженого стану.

Тому при моделюванні виникає проблема вибору конкретного критерію руйнування та пошуку його критичних значень для процесу, що досліджується.

Так, наприклад, у роботі [5] досліджувався процес витягування сталі 20 та встановлені критичні значення таких критеріїв руйнування як Normalized Cockcroft-Latham та Brozzo. В роботі встановлено, що при 3D-моделюванні критичне значення критерію Normalized Cockcroft-Latham знаходиться в межах 0,58...0,6, критерію Brozzo – в межах 0,74...0,76. При 2D-моделюванні критичні значення критеріїв склали 0,6 та 0,75 відповідно.

В даній роботі представленні результати досліджень, метою яких було встановлення можливості використання для аналізу процесу витягування при моделюванні в DEFORM таких критеріїв руйнування як Cockcroft-Latham, Freudenthal, Ayada, McClintock та Zhao-Kuhn (табл. 1).

В якості тестової використана задача по витягуванню з притискачем заготовки із сталі 20 діаметром 90 мм та товщиною 2,5 мм з граничним коефіцієнтом витягування 0,508, при якому в реальних умовах ще не відбувається руйнування заготовки [5].

Результати досліджень представлені на рис. 1 – рис. 5.

Таблиця 1. Критерії DEFORM що досліджуються

| № | Назва | Формула розрахунку |
|---|------------------|--|
| 1 | Cockcroft-Latham | $D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \sigma^* d\bar{\epsilon}$ |
| 2 | Freudenthal | $D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \bar{\sigma} d\bar{\epsilon}$ |
| 3 | Ayada | $D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma_m}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon}$ |
| 4 | McClintock | $D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}(1-n)} \sinh \left[\frac{\sqrt{3}(1-n)(\sigma_b + \sigma_a)}{2\bar{\sigma}} \right] + \frac{(\sigma_b - \sigma_a)}{\bar{\sigma}} \right\} d\bar{\epsilon}, n = 0$ |
| 5 | Zhao-Kuhn | $D = \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}}$ |

В таблиці прийняті наступні позначення:

$\bar{\epsilon}$ – накопичена пластична деформація, $d\bar{\epsilon}$ – приріст накопиченої деформації, σ^* – максимальні головні напруження розтягу, $\bar{\sigma}$ – інтенсивність напружень, σ_m – середнє напруження.

411

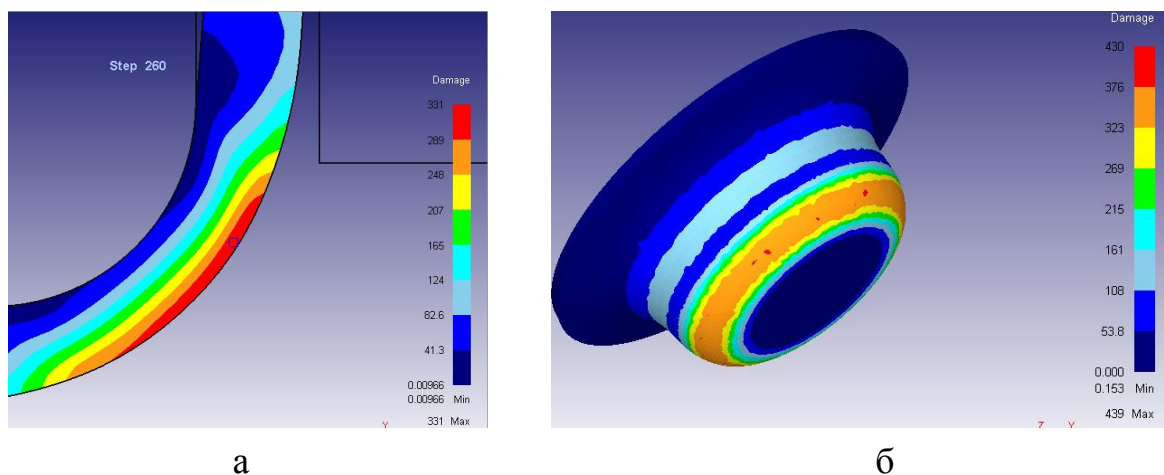


Рис. 1. Розподіл значень критерію руйнування Cockcroft-Latham:
а) за результатами 2D-моделювання; б) за результатами 3D-моделювання

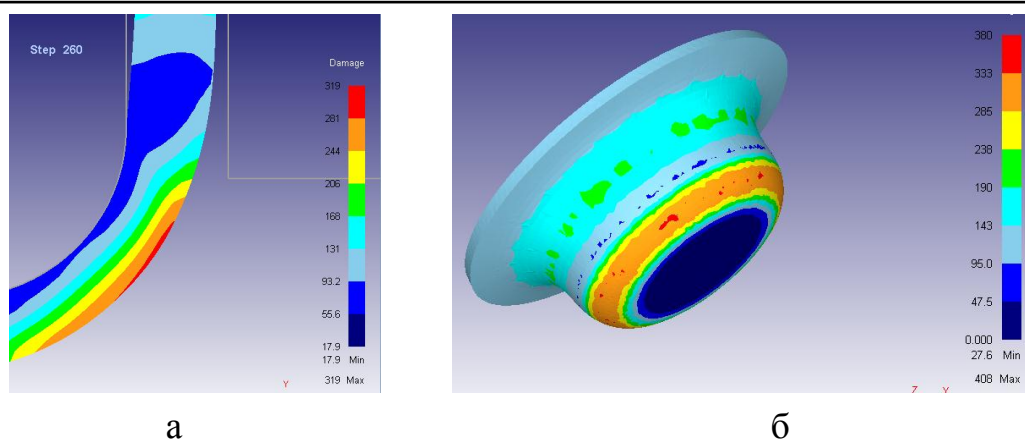


Рис. 2. Розподіл значень критерію руйнування Freudenthal:
а) за результатами 2D-моделювання; б) за результатами 3D-моделювання

Як видно з рис. 1 та 2 критерії Cockcroft-Latham та Freudenthal при моделюванні процесу витягування дають практично однакові критичні значення –330 МПа та 320МПа відповідно за результатами 2D-моделювання та 360...370 МПа та 320...330 МПа за результатами 3D-моделювання (при межі міцності сталі 20 390 МПа). Проте ці критерії не відносні, тому використання отриманих критичних значень можливе лише при моделюванні деформування сталі 20 за подібної схеми напружено-деформованого стану.

412

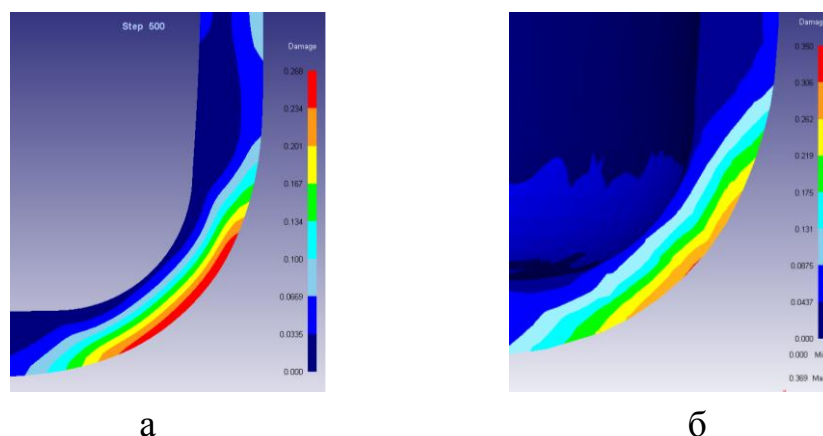


Рис. 3. Розподіл значень критерію руйнування Ayada:
а) за результатами 2D-моделювання; б) за результатами 3D-моделювання

Рис. 3 дозволяє встановити критичні значення критерію Ayada. При 2D-моделюванні критичне значення даного критерію становить приблизно 0,27, при 3D-моделюванні знаходиться в межах 0,3...0,31. Однак отриманий діапазон значень даного критерію досить вузький, що може ускладнювати вибір оптимального варіанту деформування зі ступенями деформацій, близькими до

граничних, коли прийняття рішення буде залежати від сотих або навіть тисячних у розрахованому значенні даного критерію.

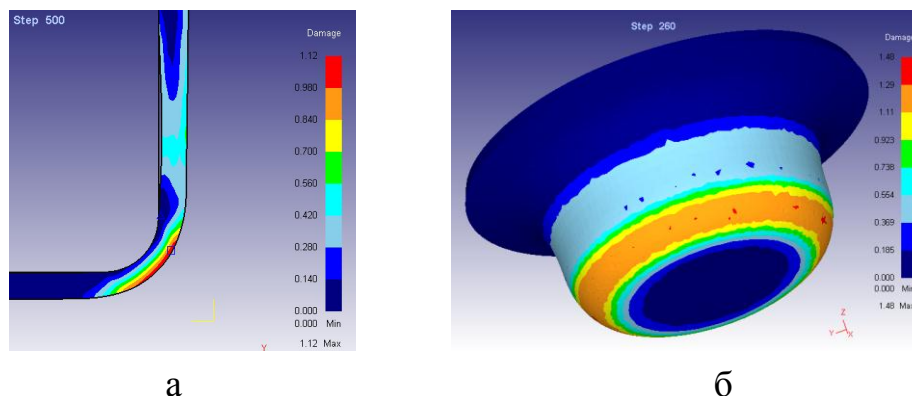


Рис. 4. Розподіл значень критерію руйнування McClintock:
а) за результатами 2D-моделювання; б) за результатами 3D-моделювання

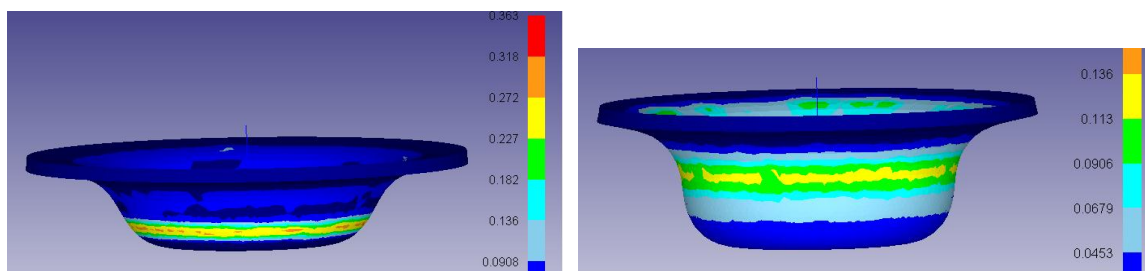


Рис. 5. Розподіл значень критерію руйнування Zhao-Kuhn
в процесі витягування (3D-моделювання)

Критичне значення критерію McClintock (рис. 4) при коефіцієнті $n = 0$ у розрахунковій формулі (табл. 1) за результатами 2D-моделювання складає 1,12, а за результатами 3D-моделювання - 1,25...1,3. Даний критерій дає більш широкий діапазон значень, що полегшує оптимізацію процесів деформування за результатами моделювання, але отримані граничні значення можуть негативно сприйматися вітчизняними дослідниками, для яких значення критерію руйнування не мають перевищувати 1.

Найменш прийнятним для аналізу нестационарного процесу деформування (перший перехід витягування) виявився критерій Zhao-Kuhn (силовий критерій). Як видно з рис. 5, в процесі моделювання постійно змінюється як положення небезпечної зони, так і значення критерію. Для визначення дійсно небезпечної зони, де можливе руйнування матеріалу в

процесі деформування, необхідно проаналізувати усю базу отриманих результатів. А з урахуванням того, результати моделювання зберігаються з певним кроком, потрібні для аналізу результати можуть бути втрачені.

Висновки

В роботі проведено порівняльний аналіз можливості використання для аналізу процесів витягування таких критеріїв руйнування як Cockcroft-Latham, Freudenthal, Ayada, McClintock та Zhao-Kuhn. Встановлено, що з досліджуваних найбільш прийнятними для аналізу подібних процесів є критерії Ayada та McClintock. Встановлені для цих критеріїв критичні значення можуть використовуватись для подальших досліджень та оптимізації процесів витягування.

Список використаних джерел

1. Калюжний О.В. Зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 4(37). – С. 93-96.

2. Зубцов М.Е. Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением». – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1980. – 432 с., ил.

3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. - 520 с., ил.

4. Власов А.В. Расчет поврежденности металла при холодной радиальной ковке по результатам конечно-элементного моделирования в программе Deform 3D / А.В. Власов // Состояние, проблемы и перспективы развития кузнечно-прессового машиностроения и обработки давлением: сборник докладов и материалов IX Конгресса «Кузнец-2009». – Рязань, 2009. – С. 204–218.

5. Орлюк М.В. Граничні значення критеріїв руйнування при моделюванні процесів витягування в середовищі DEFORM // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017. – № 2(45). – С. 22-29. – Режим доступа: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27990>, [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2\(45\)_2017/article/6.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2(45)_2017/article/6.pdf).