

УДК 669.539

В.Олексюк

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ОЦІНКА МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ВІДКРИТОГО ПРОФІЛЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Подано інженерну методику оцінки міцності тримких конструкцій відкритого профілю, що дозволяє враховувати можливу дефектність виготовлення і базується на методах лінійної механіки руйнування.

Умовні позначення

K_1 - коефіцієнт інтенсивності напружень нормального відриву (КІН);

$\sigma_{ном}^{(p)}$ і $\sigma_{ном}^{(32)}$ - номінальні напруження розтягу і згину відповідно;

B_{ω} - згинно-крутний бімомент;

Ω - секторіальна координата точки;

I_{ω} - секторіальний момент інерції перерізу;

λ - геометричний параметр форми поперечного перерізу;

α_y і α_x - координати центру згину перетину швелера з крайовою тріщиною полочки.

Сільськогосподарські машини працюють у різноманітних, часто важких рельєфних умовах. Тому при їх виготовленні необхідно забезпечити високу міцність і надійність протягом всього строку їх служби.

Необхідність оцінки міцності конструктивних структур сільськогосподарської техніки визначається труднощами оптимізації їх базових збірних одиниць, що складаються з системи елементів різного поперечного перерізу, з'єднаних між собою зварними швами.

Оцінка міцності цих стержневих систем за допустимими напруженнями чи допустимими коефіцієнтами запасу міцності дуже наближена. Вона не відображає фактичного напружено деформованого стану конструкцій, що призводить до створення їх масивними і металомісткими, з надлишковим запасом міцності, тобто не вичерпує їх ресурсу і тому не відповідає жорстким вимогам проектування.

Незалежно від того, наскільки досконала технологія і висока якість виготовлення, практично всі конструкційні матеріали і вироби з них мають тріщиноподібні дефекти – як початкові, так і набуті в процесі експлуатації, що часто призводить до непередбаченого руйнування конструкцій. Тому класичні розрахунки на міцність потрібно доповнювати оцінкою тріщиноотривкості конструкцій, використовуючи для цього лінійну механіку руйнування. Цьому присвячена стаття.

Найбільш відповідальним завданням при прогнозуванні і визначенні ресурсу роботи конструкцій є вироблення критеріїв оцінки міцності з позиції механіки крихкого руйнування.

Інженерна методика оцінки міцності, що дозволяє враховувати можливу дефектність виготовлення, базується на методах лінійної механіки руйнування.

Практична реалізація цієї методики забезпечується при розв'язанні таких завдань:

- визначення напружено-деформованого стану конструкції при дії статичних навантажень;
- замірювання прискорень і динамічних реакцій при експлуатації й обчислення робочих навантажень;
- розрахунок напружень у найбільш небезпечних перерізах рами з тріщинами;
- експериментальне знаходження основних характеристик циклічної тріщиноотривкості матеріалу;
- дослідження розвитку тріщин втомного руйнування в елементах конструкцій.

Для виготовлення тримких конструкцій сільськогосподарських машин широко застосовуються тонкостінні стержневі конструкції, що складаються з елементів відкритого профілю типу швелерів, кутників, таврових і двотаврових поперечних перерізів.

При розрахунках на міцність конструкцій даного виду, дуже важливо враховувати вплив стисненого кручення як одного з найбільш поширених видів навантаження рамних конструкцій і більш узагальненого підходу до вирішення даної проблеми.

Оцінку міцності з позиції тріщиноотривкості конструктивних структур відкритого профілю, сільськогосподарської техніки зокрема, виконуємо за силовим критерієм, оснований на розгляді напружено-деформованого стану в зоні виникнення, поширення і зупинки тріщин. Цей критерій вимагає визначення лише одного параметру – коефіцієнта інтенсивності напружень σ – найбільш доступний для аналізу руйнування.

Одним з найбільш трудомістких етапів дослідження тріщиноотривкості конструкцій є визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) для характеристики різних типів дефектності і при заданих умовах навантаження, що відіграє домінуючу роль у механіці руйнування. Він визначає напружено-деформований стан в області вершини тріщини.

При критеріальній оцінці міцності розглянуто тонкостінний стержень швелерного поперечного перерізу, що навантажується згинно-крутним бімоментом B_{ω} .

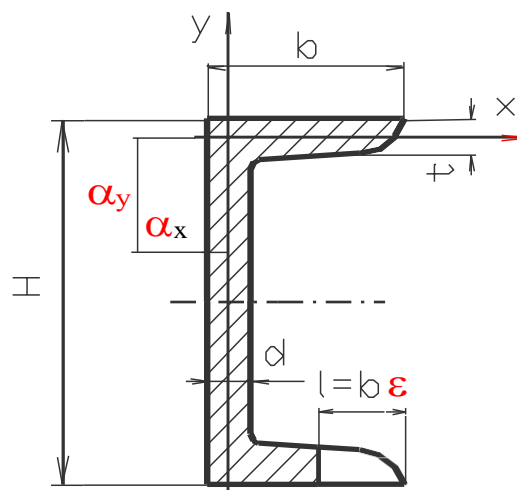


Рисунок 1. До визначення лінійних і секторіальних координат швелера з крайовою тріщиною.

Нехай швелер висотою H і товщиною d має тріщину довжиною $l = b \cdot \epsilon$, що виходить з краю полочки (рис.1). Напружений стан, що виникає в полочці швелера з тріщиною, приблизно можна моделювати, розглядаючи пластину тієї ж товщини t і ширини b з крайовою тріщиною при аналогічному навантаженні розтягуючими зусиллями P та згинними моментами M (рис.2). Оскільки напруження в полочці від дії

бімоментів розподілені за лінійним законом, їх можна подати як комбінацію напружень розтягу і згину [1].

Відповідні розв'язки задачі для визначення КІН для тріщини нормального відриву можна отримати за аналогією з залежностями, поданими у [2].

- для розтягу:

$$K_1^{(p)} = \sigma_{ном}^{(p)} \cdot (1-\varepsilon) \sqrt{b\varepsilon\pi} \left[1,12 - 0,23\varepsilon + 10,55\varepsilon^2 - 21,72\varepsilon^3 + 30,39\varepsilon^4 \right] \quad (1)$$

- для згину:

$$K_1^{(3z)} = \sigma_{ном}^{(3z)} \cdot (1-\varepsilon)^2 \sqrt{b\varepsilon\pi} \left[1,122 - 1,4\varepsilon + 7,33\varepsilon^2 - 13,08\varepsilon^3 + 14\varepsilon^4 \right], \quad (2)$$

де $\varepsilon = \frac{l}{b}$ - відношення довжини тріщини до ширини полицки швелера;

$\sigma_{ном}^{(p)}$ і $\sigma_{ном}^{(3z)}$ номінальні напруження відповідно розтягу і згину, що мають відповідати реальній картині розподілу напружень у перерізі полицки з тріщиною.

Це завдання зводиться до визначення напружено-деформованого стану в нетто-перерізі стержня, що є несиметричним швелером з довжиною нижньої полицки $b_1 = b(1-\varepsilon)$

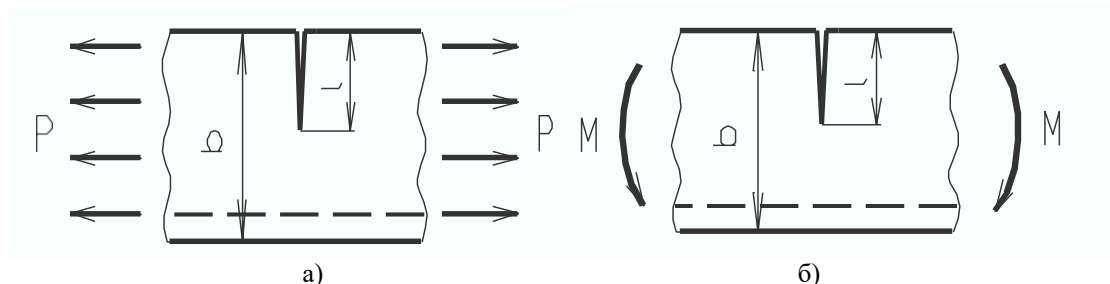


Рисунок 2. Схема навантаження полицок при депланації швелера:
а – розтяг; б – згин.

Номінальні напруження в полицці при навантаженні їх згинно-крутними бімоментами змінюються за законом секторіальних площ і описується такою залежністю:

$$\sigma_{\omega} = \frac{B_{\omega} \cdot \omega}{I_{\omega}}, \quad (3)$$

де I_{ω} - секторіальний момент інерції перерізу;

ω - секторіальна координата даної точки при розміщенні полюса в центрі згину, а початкової точки (початок відліку) – у головній секторіальній точці.

Визначення номінальних напружень базується на визначенні секторіальних геометричних характеристик перерізу. Для цього використовується метод інтегрування довільних епюр, що дозволяє визначити координати центру згину α_y і α_x та секторіальний момент інерції швелера з тріщиною. Довільні епюри лінійних x , y , z і секторіальних ω координат будуються так, щоб максимально їх спростити і зменшити кількість обчислень при інтегуванні.

Обчисливши інтеграли на всій площі перерізу від квадратів цих епюр і їх добутків, взятих попарно, можна знайти координати центру згину перерізу, і після подальших обчислень визначити перерозподіл номінальних напружень при депланації швелерного профілю, послабленого тріщиною.

Номінальні напруження від розтягу і чистого згину $\sigma_{ном}^{(p)}$ і $\sigma_{ном}^{(3z)}$ для даного випадку можна подати:

$$\sigma_{ном}^{(p)} = B_{\omega} (3 + \lambda) \cdot \left[\lambda(1 + 2\lambda) + 2\lambda\varepsilon - \lambda\varepsilon^2 \right] / 2W_{\omega} (3 + 2\lambda) (1 - \varepsilon)^2 [3 + 4\lambda(2 + \lambda) - (3 + 4\lambda)\varepsilon] \quad (4)$$

$$\sigma_{ном}^{(3z)} = B_{\omega} (3 + \lambda) \cdot \left[6 + \lambda(13 + 2\lambda) - 2(3 + 7\lambda)\varepsilon + 3\lambda\varepsilon^2 \right] / 2W_{\omega} (3 + 2\lambda)(1 - \varepsilon)^2 [3 + 4\lambda(2 + \lambda) - (3 + 4\lambda)\varepsilon], \quad (5)$$

де $\lambda = \frac{H \cdot d}{b \cdot t}$ - геометричний параметр форми поперечного перерізу (в даному випадку швелер);

W_{ω} - секторіальний момент опору швелера.

Сумарна величина КІН при лінійному розподілі напружень матиме значення:

$$K_1 = K_1^{(p)} + K_1^{(3z)} \quad (6)$$

Вираз для визначення КІН у випадку стисненого кручення швелера з крайовою тріщиною, що виходить з вершини полицки, з достатньою для практичного застосування точністю можна подати так:

$$K_I = B_{\omega} \cdot F(\varepsilon, \lambda), \quad (7)$$

де $F(\varepsilon, \lambda)$ - поправочна функція для отримання числового значення КІН, що враховує вплив розмірів тріщини і геометрію перерізу.

$$F(\varepsilon, \lambda) = (3 + \lambda) \cdot \sqrt{b\varepsilon\pi} \left\{ \left[\lambda(1 + 2\lambda) + 2\lambda\varepsilon - \lambda\varepsilon^2 \right] \times \left[1,12 - 0,23\varepsilon + 10,55\varepsilon^2 - 21,72\varepsilon^3 + 30,39\varepsilon^4 \right] + (1 - \varepsilon) \cdot \left[6 + \lambda(13 + 2\lambda) - 2(3 + 7\lambda)\varepsilon + 3\lambda\varepsilon^2 \right] \times \left[1,122 - 1,4\varepsilon + 7,33\varepsilon^2 - 13,08\varepsilon^3 + 14\varepsilon^4 \right] \right\} / 2W_{\omega} \cdot (3 + 2\lambda)(1 - \varepsilon) [3 + 4\lambda(2 + \lambda) - (3 + 4\lambda)\varepsilon] \quad (8)$$

Значення поправочної функції, наприклад, для стандартного прокатного профілю (швелер №12) подано на рис. 3.

Для визначення фактичних значень бімоментів B_{ω} у найбільш навантажених перерізах конструкції, що розраховується, з урахуванням реальних динамічних навантажень, отриманих в натурних умовах експлуатації машин, створений модифікований метод мінімуму потенційної енергії. Запропонований метод динамічного розрахунку тримких конструкцій базується на поєднанні варіаційного принципу Лагранжа і теореми Кастеліано. Розрахункова схема конструкції при цьому будується за кінцевоелементним принципом [3].

Для обчислення системи диференціальних рівнянь і доведення задачі до інженерних результатів створено програмне забезпечення "DEPLAN-DINAMIK".

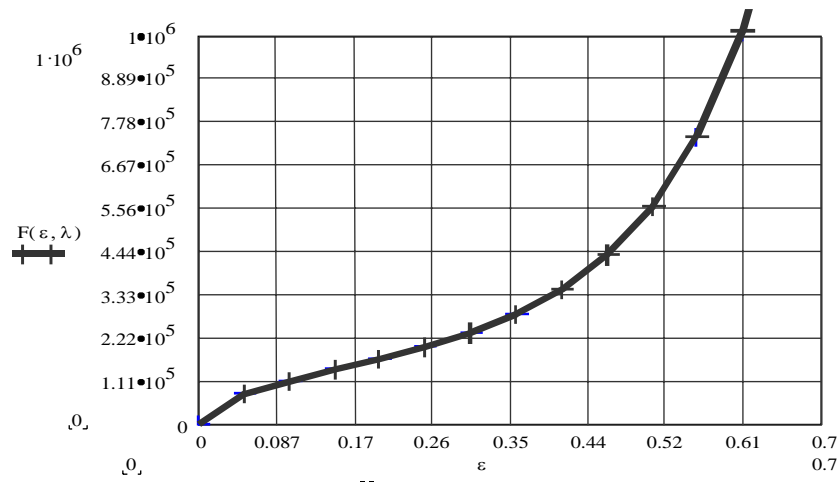


Рисунок 3. Значення поправочної функції $F(\varepsilon, \lambda)$.

The article touches upon poorly study aspects of estimation durability constructions of open profile agricultural machines. In the paper showed engineering method of this estimation.

Література

1. Бычков Д. В. Строительная механика стержневых конструкций. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 386 с.
2. Саврук М. П. Механика разрушения и прочность материалов. Т. 2. – К.: Наукова думка, 1988. – 620 с.
3. Рыбак Т. И. Методы оценки несущей способности и долговечности машин для химической защиты в растениеводстве. – Киев: Наук. думка, 1985. – 232 с.

Одержано 26.05.2000 р.