



ДО РОЗРАХУНКУ ВИТРИВАЛОСТІ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕФОРМАЦІЙНИХ КРИВИХ УТОМИ І ПАРАМЕТРА ЕНЕРГОПОГЛИНАННЯ МАТЕРІАЛУ

УДК 624.014; 620.191

АВТОР

ДАВИДЕНКО О.І., доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

ДАВИДЕНКО М.О., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України

АННОТАЦІЯ

У статті наведені пропозиції щодо обчислення розрахункового опору втоми конструкцій, виготовлених із сталей з різним ресурсом пластичності на основі деформаційних кривих втоми і залежності коефіцієнта енергопоглинаємості від кількості циклів навантаження.

The article presents the proposal for the calculation of the estimated fatigue resistance of structures made of steel with a variety of resources on the basis of plasticity deformation curves of fatigue and energy parameter function of the number of load cycles.

КЛЮЧЕВІ СЛОВА

витривалість, крива втоми, ресурс пластичності сталі

Методи розрахунку сталевих конструкцій та їх елементів (підкранових балок, балок робочих площадок, елементів конструкцій бункерних і розвантажувальних естакад та ін.), відповідно до норм проектування орієнтовані на виконання розрахунків на витривалість і міцність з урахуванням крихкого руйнування. Однак значення межі витривалості, що обчислювана згідно норм [1], при перевищенні амплітудою межі текучості для елементів у стані постачання і при циклічному навантаженні вимагає обмеження. Результати розрахунків, виконаних на кафедрах металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА, ДонГАСА відповідно до СНиП II-23-81* «Сталеві конструкції», СНиП 2.05.03.84 «Мости і труби», Еигосcode свідчать, що жодна з перерахованих методик не забезпечує розрахунку на витривалість всіх груп елементів без перенапруження, включаючи розрахунки прокатних балок по основному металу, з'єднання внахлест, трубчасті з'єднання при різних коефіцієнтах асиметрії циклу. При цьому в умовах знакозмінного навантаження відсоток перенапружень зростає. Наведені результати розрахунків на витривалість свідчать про необхідність вдосконалення методів визначення розрахункових опорів матеріалу конструкцій при циклічному навантаженні. Так в [2] значення межі витривалості для груп елементів визначається за формулою, що включає коефіцієнт асиметрії напружень, а характеристики значень середньоквадратичного відхилення межі витривалості приймаються з урахуванням величини залишкових напружень.

В даний час покращилася якість металу, намітилася тенденція до використання високоміцних сталей



при проектуванні конструкцій. Все це дає підставу для впровадження сучасних методик визначення допустимого максимального напруження при розрахунку на витривалість.

У дослідженнях [3] показано, що циклічне навантаження призводить до вироблення деформаційного ресурсу при різному енергопоглинанні матеріалу, що характеризується різною площею під кривою деформування. При рівних значеннях межі текучості і межох міцності при різній кількості циклів навантаження спостерігається значне розходження в ресурсі пластичності і рівні енергопоглинання матеріалу. В даних дослідженнях в якості параметра, що комплексно характеризує енергопоглинання матеріалу і пружну енергію, що накопичується в матеріалі, прийнято відношення питомої роботи пластичної деформації до відповідної енергії пружних деформацій в момент втрати стійкості пластичного деформування, що відповідає моменту досягнення межі міцності [4].

$$\beta_{pl} = W_p / W_e \quad (1)$$

При використанні даного підходу коефіцієнт енергопоглинання при циклічному навантаженні може бути обчислений на основі деформаційних кривих втоми. За умови кусочно-лінійної апроксимації діаграми деформацій " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " і підстановки в рівняння (1) деформаційних кривих втоми коефіцієнт енергопоглинання може бути обчислений за формулою:

$$\beta_{pl,N} = \frac{E \cdot \varepsilon_u(N) \cdot (R_u + R_y)}{R_u^2} \quad (2)$$

де E - модуль пружності;

$\varepsilon_u(N)$ - деформації, що відповідають тимчасовому опору сталі, в залежності від кількості циклів навантаження, що визначаються за деформаційних кривих втоми [3];

R_u - розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, вигину

за тимчасовим опором [2];

R_y - розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, вигину за межею текучості [2].

З урахуванням (2) величину розрахункового опору втоми можна визначити за формулою:

$$R_v^n = \{R_v + f(\beta_{pl, N}) \cdot [R_u - R_v]\} \cdot \gamma_v \quad (3)$$

де R_v - розрахунковий опір втоми, прийнятий згідно [1], залежно від тимчасового опору сталі і групи елементів конструкцій;

$$f(\beta_{pl,N}) = \frac{\beta_{pl,N}}{2000 + \beta_{pl,N}} - \text{функція параметра енерго-}$$

поглинання;

γ_v - коефіцієнт, що визначається залежно від виду напруженого стану і коефіцієнта асиметрії циклу напружень.

Облік кількості циклів навантаження у формулі (3) виконано за допомогою функції, що включає залежність граничних деформацій при циклічному напруженні, або значення граничних деформацій різних сталей з відповідним ресурсом пластичності при короткочасному навантаженні.

Таким чином, формула (3) в порівнянні з формулами (115-117) методики [1] дозволяє визначити розрахункові опори як при статичному навантаженні з урахуванням відмінності ресурсу пластичності сталей, що мають рівні параметри міцності, так і розрахункові опори втоми, залежно від прийнятих деформаційних кривих втоми в рівняннях (2, 3).

Порівняння результатів розрахунку опорів втоми за пропонованою методикою і методикою [1] для різних груп елементів і сполучень у всьому діапазоні коефіцієнтів асиметрії циклу наведено на рис. 2 [5].

Особливе значення представляє використання запропонованого підходу для розрахунку енергопоглинання і опору втоми елементів конструкцій, виготовлених з високоміцних сталей, що відрізняються різним запасом деформаційного ресурсу, для яких

потрібні додаткові дослідження щодо встановлення обмежень межі витривалості і розрахункових опорів втоми, встановлення нових коефіцієнтів, що враховують кількість циклів навантаження.

Вироблення деформаційного ресурсу призводить до поступового зниження в'язкості руйнування, а зменшення площі під лінійною (автомодельною ділянкою) на заключному етапі деформування після утворення тріщини призводить до зниження параметра тріщиностійкості. Зазначена обставина може бути врахована в рівнянні (2) у вигляді додаткового доданка, що характеризує зниження в'язкості руйнування в умовах циклічного, особливо, малоциклово-

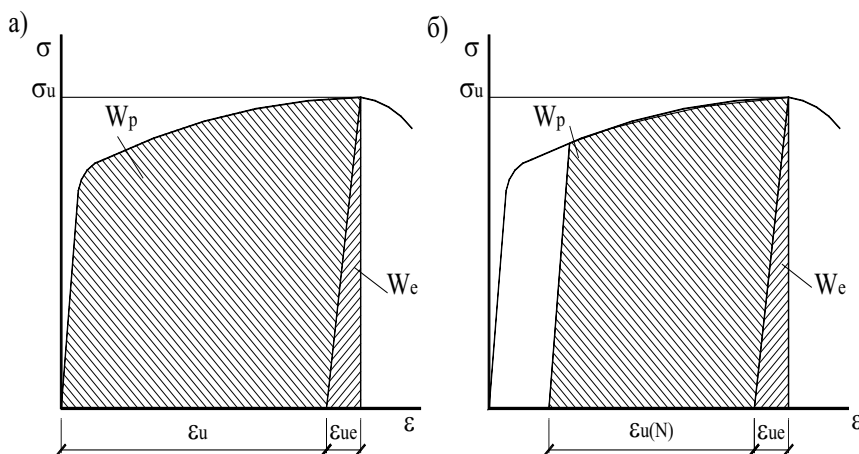


Рис. 1. До визначення коефіцієнта енергопоглинання матеріалу:

а) - діаграма деформування матеріалу в стані постачання;

б) - діаграма деформування матеріалу після (N) циклів навантаження.

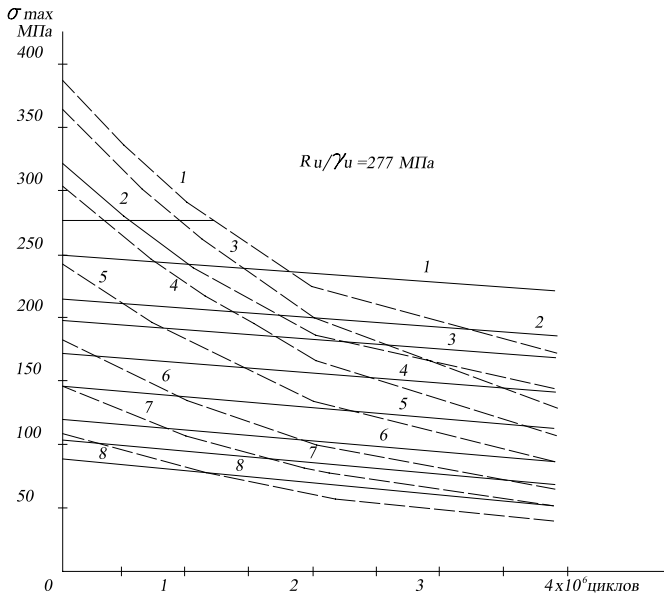


Рис. 2. Графічне порівняння межі витривалості за методикою [1] (пунктирні лінії) і пропонованою методикою (суцільні лінії) при $\rho = 0,118$ ($0 < \rho < 0,8$)

го навантаження при визначенні нового параметра енергопоглинання:

$$\beta_{pl}^d = \frac{(R_y + R_u) \varepsilon_u(N) E + E \varepsilon_p(N) R_u}{R_u^2} \quad (4)$$

Тоді рівняння для визначення розрахункового опору сталі малоциклової втоми з урахуванням крихкого руйнування прийме вигляд:

$$R_v^d = \left\{ R_v + f(\beta_{pl, N, d}^d) \cdot [R_u - R_v] \right\} \cdot \gamma_t \quad (5)$$

де $\beta_{pl, N, d}^d$ – функція параметра енергопоглинання в залежності від кількості циклів і величини питомої роботи руйнування.

Наведене рівняння відрізняється від рівняння для визначення розрахункового опору витривалості (3) лише новою функцією параметра β , яка може бути отримана на основі експериментальних даних про механічні властивості конструкційних сталей і випробувань на міцність реальних конструкцій. Рівняння (5) представляється раціональним і для розробки методики розрахунку на малоциклову утому в нормах проектування.

Значення руйнуючих амплітуд напружень з урахуванням ресурсу пластичності при заданій кількості циклів в умовах м'якого навантаження з використанням [6] визначаються за формулою:

$$\sigma_a^n = \frac{A_n \cdot E_s \cdot (1 - \eta)}{N^m} \ln \frac{100}{100 - \psi} + \frac{R_v^d}{1 + \frac{R_v^d \cdot (1 + \eta)}{R_u \cdot (1 - \eta)}}, \quad (6)$$

де R_v^d - розрахунковий опір утоми при малоцикловою навантаженні;

$$A_n = 0,16 \cdot \left(1 + \frac{1}{1 - \frac{R_y}{R_u}} \right) \quad \text{- параметр діаграми}$$

циклічного деформування;

ψ - відносне звуження зразка конструкційної сталі;

m - характеристика сталів залежності від циклічних властивостей і асиметрії циклу напружень.

ВИСНОВКИ

Таким чином, використання наведених коефіцієнтів енергопоглинання дозволяє визначати розрахункові опори утоми з єдиних позицій, що мають одне загальне фізичне обґрунтування і характеризуються зниженням ресурсу пластичності сталей і в'язкості руйнування, як при розрахунку на малоцикловою утому, витривалість при багатоцикловою навантаженні, так і при розрахунку з урахуванням крихкого руйнування. Результати порівняльного аналізу свідчать про досить диференційний підхід до визначення розрахункового опору утоми за пропонованою методикою, що не потребує обмежень в області підвищених амплітуд напружень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу: ДБН В.2.6-163:2010. – [Чинний від 2011-12-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. - V, 202 с. – (Національний стандарт України).
2. Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014. - На заміну ДБН 2.6-163:2010 у частині розділу 1. - [Чинний від 2015-01-01] - К.: Мінрегіонбуд, 2014. - 219 с. – (Національний стандарт України).
3. Определение долговечности стали 20ГС в условиях пульсирующего нагружения с помощью полных диаграмм деформирования / [Байков В.П., Антипов Е.А., Глушков А.К. и др.] // Вестн. политехн. ин-та. – К.: Машиностроение. – 1991. – Вып. 30. – С. 77–84.
4. Механическое поведение материалов при различных видах нагружения / [Гроценко В.Т., Лебедев А.А., Стрижало В.А. и др.]. – К.: Логос, 2000. – 571 с.
5. Давиденко А.И. Определение расчетного сопротивления выносливости на основе параметра энергопоглощаемости материала / Давиденко А.И., Псюк В.В. // Вісник Придніпр. акад. буд-ва та арх-ри. – 2002. – № 1. – С. 10–16.
6. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.