

ОКРИХЧУЮЧА ДІЯ КОНЦЕНТРАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ

С.О.Котречко, В.М.Грищенко

Інститут металофізики ім.Г.В.Курдюмова НАН України

The article is devoted to analyze the local and global approaches to assessing of the level embrittlement stress concentrators. Based on experimental results which were received on specimens with circular cuts from typical structural steels was assessed the accuracy of these approaches is shown that the global approach results in underestimating the degree of embrittlement of steel. For structural steels maximum value of this error does not exceed 11%

Вступ

На сьогоднішній день для прогнозування можливості крихкого руйнування елементів конструкцій широко використовуються така характеристика, як в'язкість руйнування K_{JC} , (K_{JC}). Ця характеристика досить зручна при розрахунках міцності елементів конструкцій, які містять тріщиноподібні дефекти. Прогнозування руйнування елементів конструкцій при довільній геометрії концентратора можливе в рамках Локального підходу до руйнування, проте використання цього підходу потребує проведення складних комп'ютерних розрахунків.

Мета роботи полягала в розробці спрощеної методики експериментального визначення окрихчуючої дії концентраторів напружень.

Теоретичні основи

За визначенням величина локальних розтягуючих напружень σ_{11} пов'язана з інтенсивністю напружень σ_i через величину жорсткості j [1], тому величина локального напруження руйнування σ_f може бути описана наступним чином:

$$\sigma_f = j\sigma_{if}, \quad (1)$$

де $\sigma_{if} = \sigma_{0.2} \left(\frac{e_{if}}{e_y}\right)^n$ – величина інтенсивності напружень в локальній області де ініціюється руйнування;

e_{if} - величина інтенсивності мікропластичних деформацій в локальній області руйнування;

e_y - величина пластичної деформації на межі плинності $e_y = 0.2\%$;

n - коефіцієнт деформаційного зміцнення за Холломоном.

Як було показано в роботі [2] в першому наближенні сплавам на основі заліза характерна величина пластичної деформації в локальній області де ініціюється руйнування 2%, тому:

$$\sigma_{if} = \sigma_{0.2} \left(\frac{2}{0.2}\right)^n \approx \sigma_{0.2} \times 10^n \approx \sigma_2, \quad (2)$$

де σ_2 – напруження, що відповідає 2% макродеформації.

Підставляючи (1) в (2), отримаємо:

$$\sigma_f \approx j\sigma_2. \quad (3)$$

Залежність (3) дозволяє встановити зв'язок між величиною локального напруження руйнування σ_f та значенням глобальної механічної характеристики металу σ_2 . У відповідності до (3) умовою однозначного зв'язку між σ_f та σ_2 є сталість величини жорсткості $j = const$ напруженого стану в момент руйнування. У зв'язку з чим була розроблена методика визначення критичної температури крихкості T_c , шляхом пошуку такого відношення $\sigma_{NF} / \sigma_{0.2}$, що забезпечує сталість величини жорсткості j в момент руйнування з урахуванням особливостей деформаційного зміцнення конструкційних сталей.

Оскільки в наближенні ідеально пластичного металу величина жорсткості j ($j = \sigma_{11} / \sigma_i$) є однозначною функцією $\sigma_{NF} / \sigma_{0.2}$ (де σ_{NF} – номінальне напруження руйнування зразка з концентратором напружень) (рис.1) чи $j = f(J_I / \sigma_{0.2})$, де J_I – J інтеграл у випадку гострої тріщини [3].

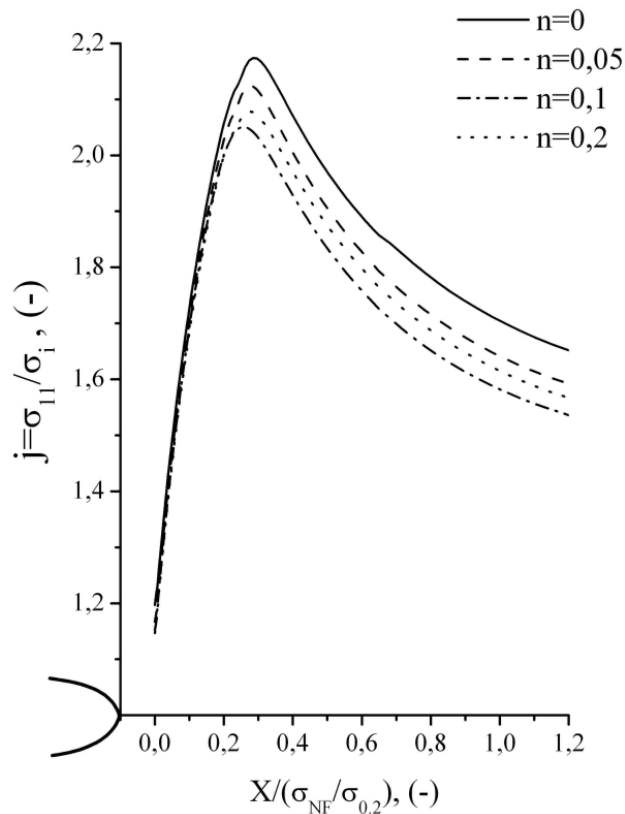


Рисунок 1. – Зміна жорсткості напруженого стану у вістрі кільцевого концентратора $\rho = 0.25$ в залежності від нормованої величини $X / (\sigma_{NF} / \sigma_{0.2})$ що враховує різну схильність матеріалу до деформаційного зміцнення, де X - віддаль від вершини концентратора напружень в поперечному перерізі, σ_{NF} - номінальне напруження руйнування зразка з концентратором, σ_{11} - локальні розтягуючі напруження, σ_i - інтенсивність локальних напружень.

Відповідно до запропонованих уявлень [4] умова крихкого руйнування металу у вершині довільного концентратора:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_i} \geq \frac{\sigma_f}{\sigma_Y (e_{if} / e_Y)^n} \quad (4)$$

Ліва сторона співвідношення (4) характеризує жорсткість напруженого стану і містить лише локальні характеристики, а права – показує ступінь перевищення величини локальної міцності σ_f над рівнем розтягуючи напружень, які діють в локальній області, де можливе ініціювання крихкого руйнування.

В роботах [2, 5] було показано, що величина локального напруження σ_f завжди перевищує рівень крихкої міцності R_{MC} стандартних зразків в умовах одновісного розтягу, тому вираз (4) можна представити у вигляді:

$$\frac{j}{k_V} \approx \frac{R_{MC}}{\sigma_Y (e_{if} / e_Y)^n} \quad (5)$$

де $k_V = \frac{\sigma_f}{R_{MC}}$ – ступінь перевищення локального напруження σ_f руйнування над крихкою міцністю R_{MC}

Ліва частина в цьому відношенні є кількісною мірою окрихчуючої дії концентратора напружень q_σ , яка виражена через локальні характеристики:

$$q_\sigma = \frac{j}{k_V} \quad (6)$$

Як згадувалось вище, в першому наближенні критична величина локальної пластичної деформації близька до 2 %. Спираючись на цей факт і розроблену методику визначення критичної температури T_C , при якій забезпечується фіксоване значення жорсткості локального напруженого стану, праву частину виразу (5) можна представити через величину коефіцієнта механічної стабільності K_{ms} при критичній температурі T_C :

$$K_{ms}(T_C) = \frac{R_{MC}}{\sigma_{0.2} 10^n} \quad (7)$$

Таким чином, значення K_{ms} при T_C дозволяє оцінити величину окрихчуючої дії концентратора напружень, спираючись лише на значення таких глобальних характеристик, як R_{MC} , $\sigma_{0.2}$, n . Це означає, що залежність (7) дозволяє встановити зв'язок між величиною локальної характеристики окрихчуючої дії концентратора напружень q_σ та її глобальним аналогом $K_{ms}(T_C)$.

Методика Дослідження проводились на конструкційних сталях 30ХГСА, 15Х2НМФА, Ст40 після різних термообробок, що дозволили отримати широкий інтервал міцності $\sigma_{0.2} = 340 \dots 1520$ МПа та забезпечити різні структурні стани – від ферито-перлітної структури до мартенситу відпуску. З вказаних сталей виточували гладкі циліндричні зразки та зразки з кільцевим концентратором $\rho = 0.25$ мм. Випробування на одновісний розтяг в широкому інтервалі температур $T = -196 - +20^0$ С проведені на розривній машині Instron-8802.

Результати та обговорення

За результатами експериментальних досліджень були встановлені співвідношення між значеннями величин локальної окрихчуючої q_σ та її глобального відповідника $K_{ms}(T_C)$ для типових конструкційних сталей в різних структурних станах (рис.2). У відповідності до отриманих даних величина $K_{ms}(T_C)$ систематично нижча за значення локального параметру окрихчуючої дії q_σ . Таке співвідношення між q_σ та $K_{ms}(T_C)$ обумовлено тим, що величина локальної деформації e_{if} тільки наближено рівна 2%, і для переважної більшості конструкційних сталей знаходиться дещо нижче вказаної величини.

Максимальна величина різниці між q_σ та $K_{ms}(T_C)$ складає приблизно 11%. При проведенні розрахунків ця різниця може бути врахована шляхом використання відповідних коефіцієнтів запасу надійності. Використанні для оцінки окрихчуючої дії концентратора напружень величини $K_{ms}(T_C)$ має значні переваги, оскільки спирається лише на використання глобальних механічних характеристик R_{MC} , $\sigma_{0.2}$, n , σ_{NF} і не потребує складних комп'ютерних розрахунків.

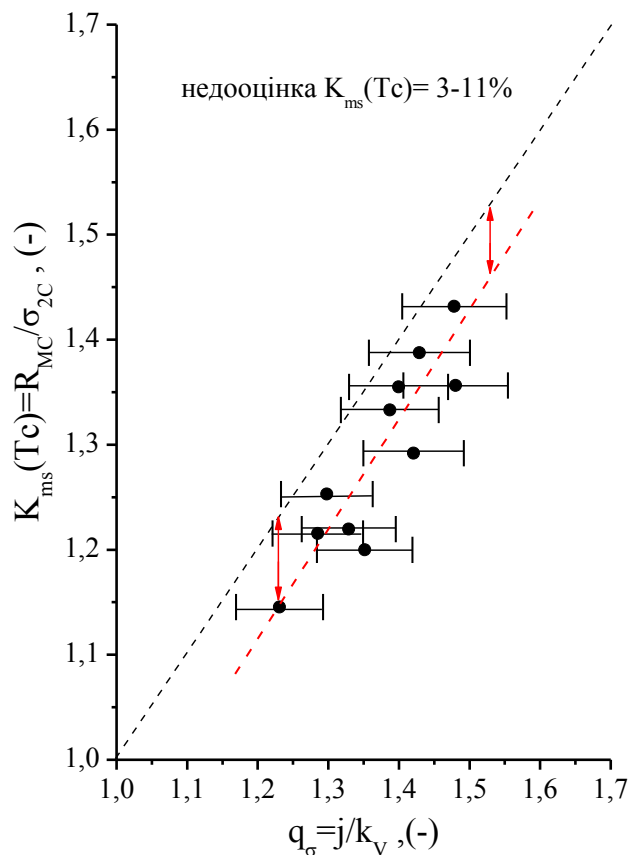


Рисунок 2. – Порівняння окрихчуючої дії кільцевого концентратора напружень $\rho = 0.25$ визначеної «локальним» q_σ та «глобальним» $K_{ms}(T_c)$ шляхом.

Висновки

1. Показано, що за умови фіксованої величини жорсткості напруженого стану $j = const$ існує зв'язок між локальними та глобальними характеристиками руйнування.
2. Показано, що незважаючи на локалізацію процесу крихкого руйнування у вістрі концентраторів напружень міру окрихчуючої дії концентраторів можна розрахувати, як за допомогою локальних, так і глобальних характеристик руйнування.
3. Інженерний розрахунок окрихчуючої дії $K_{ms}(T_c)$ концентраторів напружень за величиною $K_{ms}(T_c)$, що не потребує проведення МСЕ-розрахунків, приводить до недооцінки небезпеки концентратору напружень, яка може досягати 11%.

Література

1. Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев, *Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии*. – Киев: Наука, 1976.
2. С.А.Котречко, Ю.Я.Мешков, *Предельная прочность. Кристаллы, металлы, элементы конструкций*. –Киев: Наук.думка, 2008.
3. ASTM-1921-05 *Standard test method for determination of reference temperature, T_0 , for ferrite steels in the transition range*
4. С.А.Котречко, Ю.Я.Мешков, Д.И.Никоненко, Г.С.Меттус, *Проблеми прочності*, №1, с.72-92 (2000г.)
5. С.А. Котречко, *Металлофизика и новейшие технологии*, **14**, №5: 37-41 (1992)