

УДК 539.4

В. Дегтярев, к.т.н., с.н.с.

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Україна

## ВПЛИВ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЦИКЛУ

V.O. Degtiarev, Ph. D., Senior Researcher

G.S. Pisarenko Institute for problems of strength of the NAS of Ukraine, Ukraine

### THE INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES IN WELDED STRUCTURES ON THE LIMIT STRESSES OF THE CYCLE

**Abstract.** Author proposes a method of determination of the diagrams of ultimate stresses in a cycle for welded components structural elements with different level of steady-state residual stresses based on test results for small specimens.

В літературі прийнято вважати залишкові напруження розтягування (ЗН) високими, що впливають на міцність зварних конструкцій, коли дотримується умова  $\sigma_{\text{зал}} > 0,5\sigma_T$ , де  $\sigma_T$ -границя плинності матеріалу. ЗН, які рівні  $\sigma_{\text{зал}} < 0,5\sigma_T$ , вважаються низькими і на міцність не впливають. Але це поділ суто умовно, тому що, залежно від величини максимального напруження від зовнішнього навантаження, вони змінюються у широкому діапазоні з різним ступенем впливу на опір втомних зварних елементів металоконструкцій.

Мета роботи передбачала розробку методики розрахунку діаграм граничних напружень циклу (ДГНЦ) зварних з'єднань з будь-якою величиною ЗН за результатами випробувань зразків без ЗН. Обробка результатів втомних випробувань стикових з'єднань низьковуглецевої та низьколегованої 09Г2С сталей з різним рівнем вихідних ЗН показала, що якщо спільно врахувати вплив усталеного залишкового ЗН  $\sigma_{\text{зал}}^y$  та

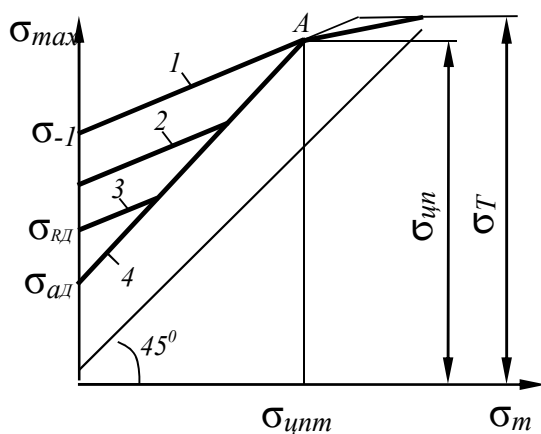


Рис. Діаграми граничних напружень циклу зварних з'єднань

границю витривалості  $\sigma_R$  при будь-якому значенні коефіцієнта асиметрії циклу  $R_\sigma$ , то ДГНЦ з ЗН збігається з ДГНЦ зразків без ЗН (пряма 1). Це дозволило запропонувати методику розрахунку ДГНЦ зварних з'єднань з різними  $\sigma_{\text{зал}}^y$  за результатами випробувань зразків без ЗН. Задаючись на прямій 1 будь-якою точкою та розглядаючи її у вигляді суми напружень  $\sigma_{R\Sigma} = \sigma_{\text{ост}}^y + \sigma_R$ , можна визначити середнє напруження циклу  $\sigma_m$  і граничну амплітуду циклу  $\sigma_a^n$ , при дії яких у зразку залишається  $\sigma_{\text{зал}}^y$ , що є граничним у вигляді

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{R\Sigma} - \sigma_R}{1 - \Psi_\sigma} + \sigma_{mR} - \sigma_{\text{зал}}^y, \quad (1)$$

$$\sigma_a^n = \frac{\sigma_B - \sigma_{R\Sigma}}{\sigma_B / \sigma_{-1} - 1} \quad (2)$$

де  $\sigma_{-1}$ -границя витривалості зварного з'єднання без ЗН при симетричному циклі навантаження,  $\Psi_\sigma$ - коефіцієнт впливу асиметрії навантаження,  $\sigma_{mR}$ - середнє напруження циклу в зразку без ЗН,  $\sigma_B$ -границя міцності матеріалу. Після деяких перетворень границю витривалості з'єднання з  $\sigma_{зал}^y$  можна визначити за формулою

$$\sigma_{RD} = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_B - \sigma_{ocm}^y) + \sigma_m(\sigma_B - \sigma_{-1})}{\sigma_B} \quad (3)$$

При дотриманні умови  $\sigma_{зал}^y = \sigma_{цп} - \sigma_{RD}$  неважко переконатися, що чим більша границя витривалості, тим менше  $\sigma_{зал}^y$ , де  $\sigma_{цп}$  - мінімальна границя циклічної повзучості (к. А), яка, як показали дослідження низьколегованих сталей, на 10-14 % менша за  $\sigma_T$ . Запропонована методика повною мірою буде реалізована у разі дотримання умови  $\sigma_R + \sigma_{зал}^y < \sigma_{цп}$ . У цьому випадку вихідні залишкові напруження при циклічному навантаженні зварного з'єднання не досягають граничної величини і не змінюються. Тому у всіх вищенаведених формулах можна використовувати значення вихідного ЗН, визначене після зварювання виробу. Було також встановлено, що ДГНЦ з'єднань не тільки паралельні між собою (прямі 2,3), а й паралельні ДГНЦ зразків без ЗН. Причому зі збільшенням усталених ЗН кожна діаграма розташовується трохи нижче попередньої. Закінчуються такі діаграми на прямій 4, яка вважається ДГНЦ зварного з'єднання з високим значенням ЗН, у якої гранична амплітуда циклу  $\sigma_{aD}$  не залежить від  $\sigma_m$ , а сама діаграма при  $\sigma_{K\Sigma} = \sigma_{цп}$ , задаючись любым значенням  $R_\sigma$ , описується рівнянням

$$\bar{\sigma}_{RD} = \frac{2 \cdot \sigma_{aD}}{1 - R_\sigma} = \frac{2}{1 - R_\sigma} \left( \frac{\sigma_R - \Psi_\sigma \cdot \sigma_{цп}}{1 - \Psi_\sigma} - \sigma_{mR} \right) \quad (4)$$

Кожна точка на цій прямій відповідає границі витривалості зварного з'єднання зі своїм значенням  $\sigma_{зал}^y$ . У виразі 4 замість  $\sigma_{цп}$  можна використовувати границю плинності, проте використання  $\sigma_{цп}$  підвищує точність розрахунку. Встановлено, що зі збільшенням залишкового напруження відбувається зниження границі витривалості досліджуваних зварних з'єднань на більш значиму величину. Залежно від марки матеріалу вплив залишкових напружень виявляється дещо різним. Якщо до теперішнього часу вважалось, що ЗН рівні  $0,5\sigma_T$  низькі і не впливають на опір втоми, то така їх величина знижує опір втоми з'єднання з низьковуглецевої сталі на 30 %, а з низьколегованої на 33 %.

Таким чином, на основі аналізу діаграм граничних напружень циклу стикових зварних з'єднань низьковуглецевих і низьколегованих сталей з високими залишковими напруженнями і без них отримано рівняння, що дозволяє визначати границі витривалості зварних з'єднань з усталеними залишковими напруженнями за результатами випробувань невеликих зразків без залишкових напружень.

Враховуючи існування єдиної діаграми граничних напружень циклу та задаючись  $\sigma_m$  від зовнішнього навантаження, можна встановити також значення  $\sigma_{зал}^y$  у вигляді

$$\sigma_{зал}^y = \frac{\sigma_{цп} - \sigma_{-1}}{\sigma_B - \sigma_{-1}} - \sigma_m \quad (5)$$

Регулювання значення  $\sigma_{зал}^y$  зовнішнім навантаженням може знайти своє застосування у способах підвищення міцності конструкцій, що розробляються.