

## ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ТА ЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ

*В. Семерак, к. т. н., О. Пономаренко, к. ф.-м. н., В. Косарчин, к. ф.-м. н.  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Важливою задачею сучасної техніки є підвищення надійності і довговічності несучих металоконструкцій машин і споруд. Несуча здатність більшості металоконструкцій (будівельні і дорожні машини, вироби спеціального призначення) визначається головним чином опором втомі елементів зварних з'єднань. Про це свідчать численні випадки утворення в зонах зварних швів втомних тріщин, що нерідко призводить до передчасного виходу з ладу або катастрофічного руйнування зварних конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструкції, які працюють в умовах підвищених температур, наприклад, двигуни потужної будівельної техніки, працюють 3 % свого ресурсу у важконавантаженому режимі, 25 % в експлуатаційному режимі, а решту часу – у легших режимах [7]. У цих умовах міцність конструкційних матеріалів, особливо металів та їх сплавів, суттєво залежить від температури, тривалості та особливостей навантаження [9; 10].

В умовах роботи (від початку до повної зупинки) застосовують принцип «лінійного сумування пошкоджень», який вперше було висунуто під час оцінки довговічності кулькових підшипників. Для тривалої міцності цей принцип був застосований як узагальнення експериментальних даних.

**Постановка завдання.** Наше завдання – визначити працездатність елементів зварних металоконструкцій і прогнозувати оцінку підвищення опору втомі.

**Виклад основного матеріалу.** Встановлено [6], що за фіксованого значення середнього напруження циклу оцінку ефективності повного зняття залишкових напружень здійснюють за допомогою залежності

$$\sigma_{\max}^{\text{об}} = \frac{\sigma_a^{\text{зал}} \cdot \sigma_b + \sigma_m (\sigma_b - \sigma_T / \alpha_\sigma)}{\sigma_b + \sigma_a^{\text{зал}} - \sigma_T / \alpha_\sigma}, \quad (1)$$

де  $\sigma_a^{\text{зал}}$  – розтяжні залишкові напруження;

$\sigma_T$  і  $\sigma_b$  – границі текучості і міцності матеріалу відповідно;

$\alpha_\sigma$  – пружний коефіцієнт концентрації напружень зварного з'єднання.

При цьому значення максимальних граничних напружень  $\sigma_{\max}^{\text{зал}}$  залежить від коефіцієнта асиметрії  $R_\sigma$  і середніх напружень  $\sigma_m$  циклу зовнішнього навантаження [8].

З метою перевірки отриманих у працях [6; 8] співвідношень виконано оцінку впливу повного зняття залишкових зварних напружень на значення межі витривалості зварного стикового з'єднання ( $\alpha_\sigma = 1,32$ ) з низьковуглецевої сталі ( $\sigma_T = 300$  МПа,  $\sigma_b = 410$  МПа).

В основу розрахунку покладено значення амплітуди граничних напружень великогабаритних зварних зразків [8] у стані після завершення зварювання. Зіставлення результатів розрахункової оцінки впливу залишкових напружень на опір втомі зварних з'єднань і експериментальних даних за різних значень коефіцієнта асиметрії циклу зовнішнього навантаження [9] показало добру їх збіжність. Результати розрахункової оцінки впливу термообробки на значення межі витривалості за отриманими у праці [6] залежностями стосовно інших типів зварних з'єднань також добре корелюються з даними експерименту [7].

Методика розрахунку ефективності повного зняття залишкових напружень термообробкою [1-3] придатна не лише для випадку, коли вихідні залишкові напруження у зварному з'єднанні досягають значення межі текучості матеріалу, але й також у разі, якщо ці напруження не перевищують  $\sigma_T$ , але вищі від граничної межі початкових залишкових напружень  $\sigma_{\text{зал}}^p$ , за якої максимальний рівень напружень у зонах концентраторів зварного стикового з'єднання при циклічному навантаженні досягає значень границі текучості ( $\sigma_{\text{max}}^k = \sigma_T$ ). Залежно від асиметрії циклу зовнішнього навантаження величина  $\sigma_{\text{зал}}^p$  визначається із залежності (див. рис.)

$$\sigma_{\text{зал}}^p / \sigma_T = 1 - \frac{2\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{(1 - R_\sigma) \sigma_T} \quad (2)$$

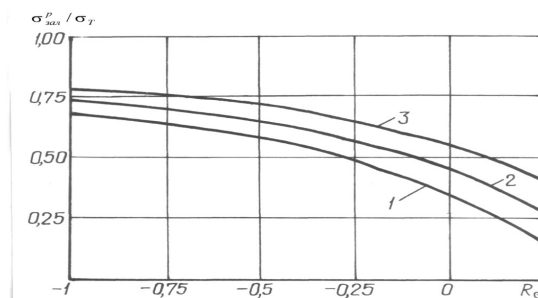


Рис. Залежність граничного значення залишкових напружень  $\sigma_{\text{зал}}^p$  від коефіцієнта

асиметрії циклу зовнішнього навантаження  $R_\sigma$ : крива 1 -  $\frac{\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{\sigma_T} = 0,325$ ;

крива 2 -  $\frac{\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{\sigma_T} = 0,27$ ; крива 3 -  $\frac{\alpha_\sigma \sigma_a^{\text{зал}}}{\sigma_T} = 0,22$ .

**Висновки.** Повне зняття залишкових напружень під час зварювання є частковим випадком найсприятливішого перерозподілу залишкових зварних напружень під дією локальної термообробки [9]. Здебільшого така термообробка сприяє лише частковому усуненню розтяжних зварних напружень або призводить до формування в зонах концентраторів зварних з'єднань залишкових напружень стиску [4].

### Бібліографічний список

1. Винокуров В. А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. Москва : Машиностроение, 1973. 215 с.
2. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. Москва : Машиностроение, 1968. 236 с.
3. Гатовский К. М., Марков С. П., Налетов В. С. Оценка напряженно-деформированного состояния при стыковой сварке листов больших габаритов. *Процессы постройки, сварки и монтажа судов*. Ленинград, 1981. С. 69–74.
4. Добрянський І. М., Ковалишин С. Й., Іваник Є. Г., Семерак В. М. Алгоритм оптимального вибору зон нагріву і охолодження при термообробці зварних пластин. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2009. Т. 1, № 13. С. 349–355.
5. Добрянський І. М., Хомляк Л. В, Іваник Є. Г. Ефективність термообробки зварних пластин рухомими зонами нагріву. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій* / за заг. ред. Й. Й. Лучка. Львів : Каменяр, 2007. Вип. 7. С. 431–436.
6. Іваник Є. Г., Косарчин В. І, Семерак В. М. Розрахункова оцінка ефективності підвищення опору втомі зварних з'єднань. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій* / за заг. ред. Й. Й. Лучка. Львів : Каменяр, 2012. Вип. 9. С. 131–134.
7. Кудрявцев Ю. Ф., Гуца О. И. Некоторые закономерности изменения остаточных напряжений при циклическом нагружении в зависимости от их начального уровня и концентрации напряжений. *Проблемы прочности*. 1986. № 1. С. 32–38.
8. Тальпов Г. Б. Приближенная теория сварочных напряжений. Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1957. 182 с.
9. Труфяков В. И., Гуца О. И., Кудрявцев Ю. Ф. Влияние остроты концентратора на сварочные остаточные напряжения при многоцикловом нагружении. *Автоматическая сварка*. 1981. № 7. С. 13–16.
10. Труфяков В. И., Гуца О. И., Кудрявцев Ю. Ф. Влияние степени концентрации напряжений на формирование остаточных напряжений при многоцикловом нагружении. *Автоматическая сварка*. 1981. № 3. С. 22–25.

**Семерак В., Пономаренко О., Косарчин В. Залишкові напруження у зварних з'єднаннях та значення межі витривалості**

На базі пропонованого методу оцінки впливу на залишкові зварні напруження та їх перерозподілу враховується локальна термообробка із

врахуванням залежності граничних залишкових напружень від коефіцієнта асиметрії циклу зовнішнього навантаження.

**Ключові слова:** надійність, довговічність, зварювання, металоконструкції, машини, споруди, змінне навантаження, втомна міцність.

**Semerak V., Ponomarenko O., Kosarchin V. Remaining stresses in welded joints and the value of the limit of endurance**

On the basis of the proposed method of estimating the impact on residual weld tensions and their redistribution, local thermal treatment taking into account the dependence of the limiting residual stresses on the coefficient of asymmetry of the external load cycle is taken into account.

**Key words:** reliability, durability, welding, metallokonstruktsii, cars, structures, variable load, fatigue strength.

**Семерак В., Пономаренко А., Косарчин В. Остаточные напряжения в сварных соединениях и значение предела выносливости**

На базе предлагаемого метода оценки воздействия на остаточные сварные напряжения и их перераспределения учитывается локальная термообработка с учетом зависимости предельных остаточных напряжений от коэффициента асимметрии цикла внешней нагрузки.

**Ключевые слова:** надежность, долговечность, сварка, металлоконструкции, машины, сооружения, переменная нагрузка, усталостная прочность.