

ВПЛИВ ІСТОРІЇ НАВАНТАЖЕННЯ НА В'ЯЗКОПЛАСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 10ГН2МФА З ВРАХУВАННЯМ ПОШКОДЖУВАНOSTI МЕТАЛУ В УМОВАХ ТЕРМОСИЛОВОГО ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.

Ф.Ф. Гігін'як, П.О. Булах

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

The results of studies on the visco-plastic properties of steels 10GN2MFA after the pre-deformation taking into account the influence of the stress state and temperature, and shows the relationship between the characteristics and properties of visco-plastic parameter defectiveness.

Вступ. Для оцінки довговічності високонавантажених елементів конструкцій, що працюють в складних умовах термосилового навантаження, суттєве значення має кінетика досягнення граничного стану металу конструкції з урахуванням факторів, супутніх реальним умовам експлуатації. В першу чергу слід виділити вид напруженого стану і пошкоджуваність. Вельми перспективними для цієї мети є підходи, засновані на оцінці в'язких властивостей металу, обумовлених швидкісними ефектами попереднього активного деформування із застосуванням пружно-в'язкопластичної моделі, що враховує пошкоджуваність металу.

Раніше в ПМіц імені Г.С. Писаренка НАН України для описання кінетики досягнення граничного стану (втрата стійкості процесу пластичного деформування) було розроблено пружно-в'язкопластичну (ПВП) модель повзучості (рис.1) [1]:

$$\dot{\varepsilon}_{i i a c} = k_i^l \cdot \sigma_i^* \quad (1)$$

де $k_i^l = a \cdot (\sigma_i^*)^b$ - циклічний коефіцієнт в'язкості;

σ_i^* - нерівноважне напруження, що зумовлює накопичення незворотних деформацій квазів'язкого характеру, а їх величина буде визначати інтенсивність процесів циклічної повзучості, що виникають в результаті активного деформування;

a і b - сталі матеріалу, що визначаються з дослідів на циклічне ступінчате навантаження або на основі двох дослідів на циклічну повзучість за умов одновісного розтягу.

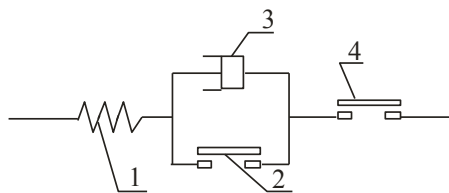


Рис.1. Модель ПВП-властивостей матеріалу і характеристики її елементів: 1 - пружності; 2,4 - пластичності, 3 - в'язкості

Методика експерименту і аналіз експериментальних даних. В роботі досліджувались закономірності циклічної повзучості і малоциклової втоми попередньо деформованої сталі 10ГН2МФА, трубчасті зразки з якої у подальшому випробували в умовах циклічного навантаження при різних співвідношеннях головних напружень і температурі 320°C.

Попереднє одноразове деформування трубчастих зразків виконували при співвідношенні головних напружень $K = \sigma_z / \sigma_\theta = 0,5$ та температурі 20°C до рівня деформації $\varepsilon_{\theta_{залиш.}} = 0,5\%$, що імітує умови гідрозапресовки теплообмінних трубок у колектор парогенератора.

Подальші випробування попередньо деформованих зразків виконували в умовах безперервного пульсуючого м'якого навантаження за методикою [1] в умовах одновісного і двовісного розтягу з співвідношеннями головних напружень $K = \sigma_z / \sigma_\theta = \infty; 1; 0,5$.

Пошкоджуваність металу оцінювали методом ЛМ-твердості [3]. При аналізі отриманих результатів, що характеризують пошкоджуваність металу, застосовували відносні значення коефіцієнта гомогенності $m_{відн} = m_i / m_{поч}$, (m_i - поточні значення коефіцієнта, що визначаються в процесі навантаження зразка; $m_{поч}$ - значення, що визначаються перед початком випробувань) розраховані за методикою [2].

Результати обробки та аналіз виконаних експериментальних досліджень а також результати отримані раніше для матеріалу в початковому стані [4], дозволили встановити, що для дослідженого діапазону температур k'_i є параметром інваріантним до виду напруженого стану та величині незворотньої деформації (рис.2), а залежність цього параметра від величини σ_i^* має вигляд:

$$k'_i = a \cdot (\sigma_i^*)^b \quad (2)$$

Така залежність характерна для всіх реалізованих співвідношень головних напружень і досліджених температур.

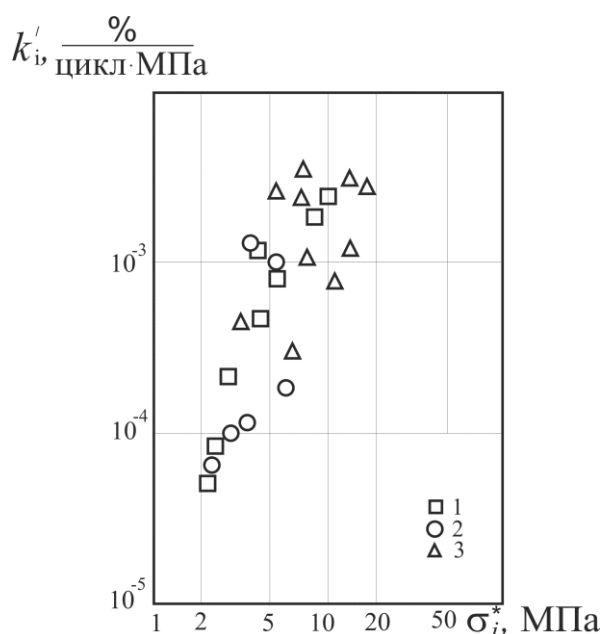


Рис.2. Залежність коефіцієнта циклічної в'язкості від інтенсивності нерівноважних напружень при різних співвідношеннях головних напружень і температурі 320°C: 1– $K = \sigma_z / \sigma_\theta = \infty$; 2– $K = 0,5$; 3– $K = 1$. Для сталі 10ГН2МФА маємо

$$a = 5,4 \cdot 10^{-7} \frac{\%}{\text{цикл} \cdot \text{МПа}}, \quad b = 4,05$$

З отриманих в цьому дослідженні результатів можна зробити висновок, що для описання повзучості попередньо деформованої сталі 10ГН2МФА в області сталого пластичного деформування при циклічному навантаженні досить мати квазістатичну діаграму при одновісному розтязі, визначити залежність коефіцієнта в'язкості k'_i від величини нерівноважних напружень і використовувати ці результати для різних інших співвідношень головних напружень, що істотно спрощує методику експериментальних досліджень та зменшує обсяг і тривалість експерименту.

Результати експериментальних досліджень характеристик в'язкопластичних властивостей попередньо деформованої сталі 10ГН2МФА з урахуванням пошкоджуваності металу послужили основою для вдосконалення ПВП-моделі і її використання для оцінки кінетики процесів повзучості при малоцикловому навантаженні в умовах плоского напруженого стану.

Якщо на різних ступінях циклічного навантаження оцінити зв'язок між нерівноважним напруженням σ_i^* і відносним коефіцієнтом гомогенності $m_{відн}$ в умовах досягнення рівноважного напруженого стану металу, то в дослідженому діапазоні співвідношень головних напружень можна з певною достовірністю стверджувати, що коефіцієнт гомогенності $m_{відн}$ в умовах рівноважного стану є параметром інваріантним до виду напруженого стану.

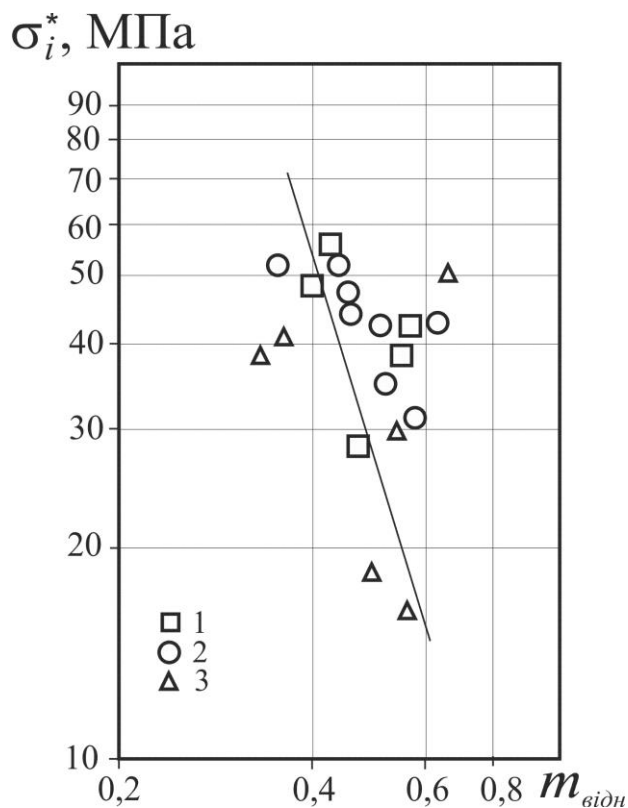


Рис.3. Зв'язок між відносним коефіцієнтом гомогенності $m_{відн}$ та інтенсивністю нерівноважних напружень σ_i^* для попередньо деформованої сталі 10ГН2МФА при різних співвідношеннях головних напружень та температурі 320°C. (Позначення ті самі, що на рис.2).

Експериментально встановлений зв'язок між відносним коефіцієнтом гомогенності $m_{відн}$ та нерівноважним напруженням σ_i^* на основі даних рис.5 можна описати рівнянням (3) і дозволяє розрахувати величини приведених нерівно вісних напружень з врахуванням пошкоджуваності $\sigma_{i\delta}^*$:

$$\sigma_{i\delta}^* = gm_{відн}^{-h}, \quad (3)$$

де g і h - параметри матеріалу, які враховують пошкоджуваність металу і визначаються з експерименту. Для попередньо деформованої сталі 10ГН2МФА – $g=2,0\text{МПа}$, $h=4,5$.

Використовуючи залежність виду (3), в якості параметра, що характеризує в'язкопластичні властивості сталі з урахуванням пошкоджуваності при циклічному навантаженні, можемо записати коефіцієнт циклічної в'язкості, як показано в роботі [4]:

$$k_s' = a_{i\delta} (\sigma_{i\delta}^*)^{b_{i\delta}}, \quad (4)$$

де a_{np} і b_{np} – параметри матеріалу, що враховують пошкоджуваність металу і визначаються експериментально. Як видно з представлених на рис.4 даних для дослідженої сталі, циклічний коефіцієнт в'язкості k_i' , який визначається на основі рівняння (4), є параметром інваріантним до виду напруженого стану, так само як і розрахований по рівнянню (2).

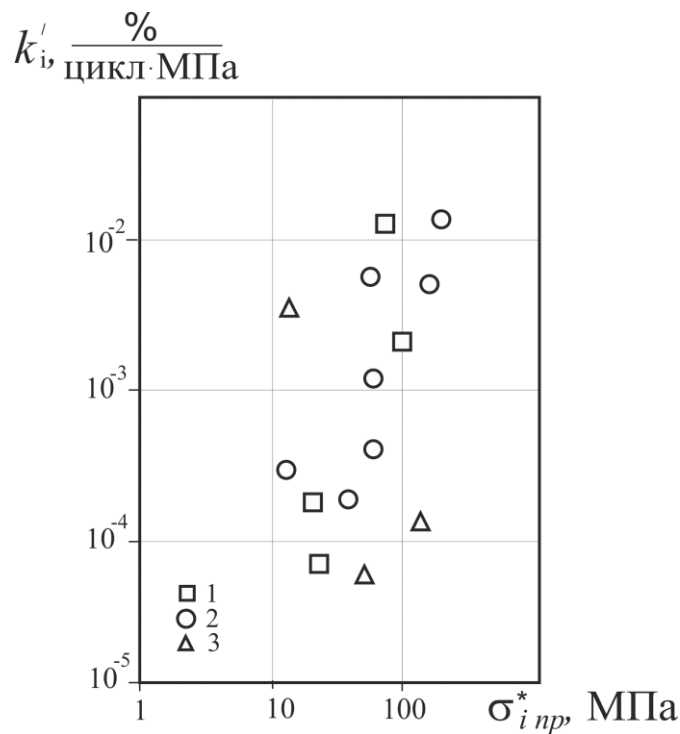


Рис.4. Залежність коефіцієнта циклічної в'язкості k_i' від інтенсивності приведених нерівноважних напружень σ_i^* при різних співвідношеннях головних напружень (Позначення ті самі, що на рис.2).

Висновки. Аналіз результатів отриманих в роботі показав, що для попередньо деформованої сталі 10ГН2МФА вдосконалена пружно-в'язкопластична модель, що встановлює взаємозв'язок між характеристиками в'язкопластичних властивостей металу і параметром його пошкоджуваності ($m_{відн}$), дозволяє з єдиних позицій описати процеси пластичного деформування з урахуванням пошкоджуваності металу при одноразовому і пульсуючому напруженні в умовах плоского напруженого стану.

Також слід відмітити, що попереднє деформування, прийнятого в наших дослідженнях рівня і виду напруженого стану, не суттєво впливає на деформаційні властивості дослідженої сталі при її наступному циклічному розтягу в умовах плоского напруженого стану.

Експериментальні результати, представлені в роботі, в подальшому будуть використані для оцінки довговічності елементів конструкцій, що працюють при циклічному навантаженні в умовах складного напруженого стану. Використання запропонованої моделі деформування дозволяє істотно спростити методику отримання вихідних даних необхідних для оцінки довговічності металів при циклічному навантаженні з урахуванням пошкоджуваності.

Література

1. Гігіняк Ф.Ф., Лебедєв А.О., Шкодзінський О.К. Міцність конструкційних матеріалів при малоцикловому навантаженні за умов складного напруженого стану. – Київ: Наук. думка, 2003. – 270 с.
2. Гігіняк Ф.Ф., Булах П.А., Можаровская Т.Н. Кинетика накопления поврежденных теплоустойчивых сталей при различных режимах нагружения// Пробл. прочности. – 2010. – №1. – С. 120-126.
3. Патент України №52107А. Спосіб оцінки деградації матеріалу внаслідок накопичення пошкоджень в процесі напруження. “Метод ЛМ- твердості”/ А.О. Лебедєв., М.Р. Музика., Н.Л., Волчек. Опубл. 15.01.03, Бюл. №1.

4. Гигиняк Ф.Ф., Булах П.А. Усовершенствование упруго-вязкопластической модели деформирования с учетом повреждаемости // Пробл. прочности. – 2012. – № 4. – С. 58-66.

МАЛОЦИКЛОВА МІЦНІСТЬ ТРІЙНИКА З ПОШКОДЖЕННЯМИ

П.С.Юхимець*, О.П. Гопкало**, О.Є. Гопкало**

*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона (Україна)

**Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка (Україна),

Investigated stress-strain state and low-fatigue strength of full-scale sample of T-joint with artificial volumetric surface defects under hydraulic inner pressure loading as well as mechanical, cyclic and structural features of material from its different zones.

Вступ. Проведеними розрахунками методом скінченних елементів (МСЕ) отримані дані про конструктивну концентрацію напружень та концентрацію напружень від геометричних параметрів дефекту і місця його розташування на поверхні рівнопрохідного трійника. У відповідності з отриманими даними в характерних зонах натурального зразка (трійника) були штучно нанесені об'ємні поверхневі дефекти, що імітували корозійно-ерозійні пошкодження. Для визначення статичних та циклічних властивостей металу в цих зонах були виготовлені та випробувані лабораторні зразки.

Результати дослідження НДС трійника МСЕ. Для досліджень були вибрані наступні зони: 1 – на патрубку, 2 – та 3 у двох взаємно перпендикулярних напрямках на лінії сполучення патрубка та основної труби у центральній частині трійника, 4 – розташована напроти патрубка та 5 – по лінії сполучення в місті її перетину з поздовжньою площиною симетрії трійника (рис. 1). Розрахунок амплітуди максимальної деформації у дефекті проводився на основі максимальної експериментальної деформації та коефіцієнта концентрації напружень (ККН) у пружній області навантаження, а також механічних властивостей відповідної зони трійника з використанням інтерполяційного співвідношення для коефіцієнта пружно-пластичної деформації [1].



Рис.1. Загальний вигляд трійника з штучним дефектом (стрілками показано напрямки вирізки лабораторних зразків в досліджуваних зонах 1, 2, 3, 4, 5).

Проведені чисельні розрахунки показали, що при навантаженні внутрішнім тиском максимальні конструктивні напруження виникають в зонах 2 та 5. Підвищення максимальних напружень в трійнику відбувається при збільшенні діаметра патрубка, зменшенні його товщини та радіуса сполучення основної труби з патрубком. Максимальні напруження в дефекті,

розташованому в зоні конструктивної концентрації напружень трійника, підвищуються з зростанням довжини та глибини дефекту та при зменшенні його ширини. Концентрація напружень в дефектах, розташованих в указаних зонах трійника, в 2,5...3,7 рази перевищує відповідні значення для дефектів з тими ж геометричними параметрами у випадку їх розташування на прямій трубі.

Методика експериментальних досліджень. В якості натурального об'єкта для експериментальних досліджень був використаний рівнопрохідний трійник Ø426x12 мм (Ст10 ГОСТ 1050-88), фактичні значення товщини стінки складала 9,8...13,2 мм. Дефекти на