

## ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ ЦИКЛУ НАВАНТАЖЕННЯ НА ШВИДКІСТЬ І МІКРОМЕХАНІЗМИ РОСТУ ВТОМНИХ ТРІЩИН У МАТЕРІАЛІ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ

Оскільки параметри циклічного навантаження значною мірою впливають на швидкість поширення тріщин, важливо дослідити вплив коефіцієнту асиметрії на кінетику росту втомних тріщин в матеріалі відповідальних елементів конструкцій, що працюють в умовах втоми, таких як осі колісних пар залізничного транспорту, для його врахування при подальшому прогнозуванні їх залишкової довговічності.

Тріщиностійкість матеріалу осей колісних пар локомотивів – сталі ОСЛ – визначали на призматичних зразках з центральною тріщиною розмірами 155x25x5 мм за одновісного розтягу з коефіцієнтом асиметрії циклу навантаження  $R = -1$  та  $R = 0$ . Дослідження проводили при кімнатній температурі на сервогідравлічній випробувальній установці СТМ-100 з комп'ютерною системою керування та реєстрації інформації при частоті навантаження  $f = 10$  Гц. Для вимірювання довжини тріщини використовували оптичну систему на базі металографічного мікроскопу МБС-10.

Коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) у вершині втомної тріщини обчислювали за формулою [1]

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \cdot Y \quad (1)$$

де  $Y = [1 - 0.025(2a/W)^2 + 0.06(2a/W)^4] \sqrt{\sec(\pi a/W)}$  – поправочна функція,  $a$  – половина довжини тріщини,  $W$  – ширина зразка,  $\Delta \sigma$  – розмах напружень бруто в перерізі зразка.

Поверхні руйнування зразків на ділянках з різним КІН досліджували на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И в режимі вторинних електронів. Для кількісного аналізу отриманих зображень використовували спеціалізоване програмне забезпечення KARPA ImageBase.

Фрактографічні дослідження показали, що крок втомних борозенок та мікрошвидкість росту тріщини змінюються зі збільшенням довжини тріщини та КІН. При коефіцієнті асиметрії циклу  $R = 0$  середнє значення кроку втомних борозенок при  $\Delta K = 10$  МПа $\sqrt{м}$  складає  $\delta = 0,37$  мкм (рис. 1, а). При цьому мікрошвидкість росту тріщини перевищує макрошвидкість на два порядки (рис. 2, а). При  $\Delta K = 14,3$  МПа $\sqrt{м}$  крок втомних борозенок зростає до  $\delta = 1,13$  мкм (рис. 1, б), а при подальшому збільшенні КІН до  $\Delta K = 36,7$  МПа $\sqrt{м}$  – зменшується до  $\delta = 0,84$  мкм. При  $\Delta K > 30,2$  МПа $\sqrt{м}$  макрошвидкість росту тріщини стає більшою за мікрошвидкість.

При коефіцієнті асиметрії циклу  $R = -1$  середнє значення кроку втомних борозенок при  $\Delta K = 8,7$  МПа $\sqrt{м}$  складає  $\delta = 0,8$  мкм (рис. 2, б). При  $\Delta K = 15$  МПа $\sqrt{м}$  крок втомних борозенок зростає до  $\delta = 1,67$  мкм (рис. 1, в), а при подальшому збільшенні КІН до  $\Delta K = 31,6$  МПа $\sqrt{м}$  – зменшується до  $\delta = 0,72$  мкм. Макрошвидкість росту тріщини стає більшою за мікрошвидкість при  $\Delta K > 26,7$  МПа $\sqrt{м}$ . При цьому в зламі з'являються ямки відриву розміром від 0,6 до 4 мкм (рис. 1, г), що свідчить про частково в'язкий механізм поширення тріщини [2]. Вони формуються за рахунок об'єднання мікропор, що зароджуються на жорстких карбідних чи сульфідних включеннях глобулярної форми.

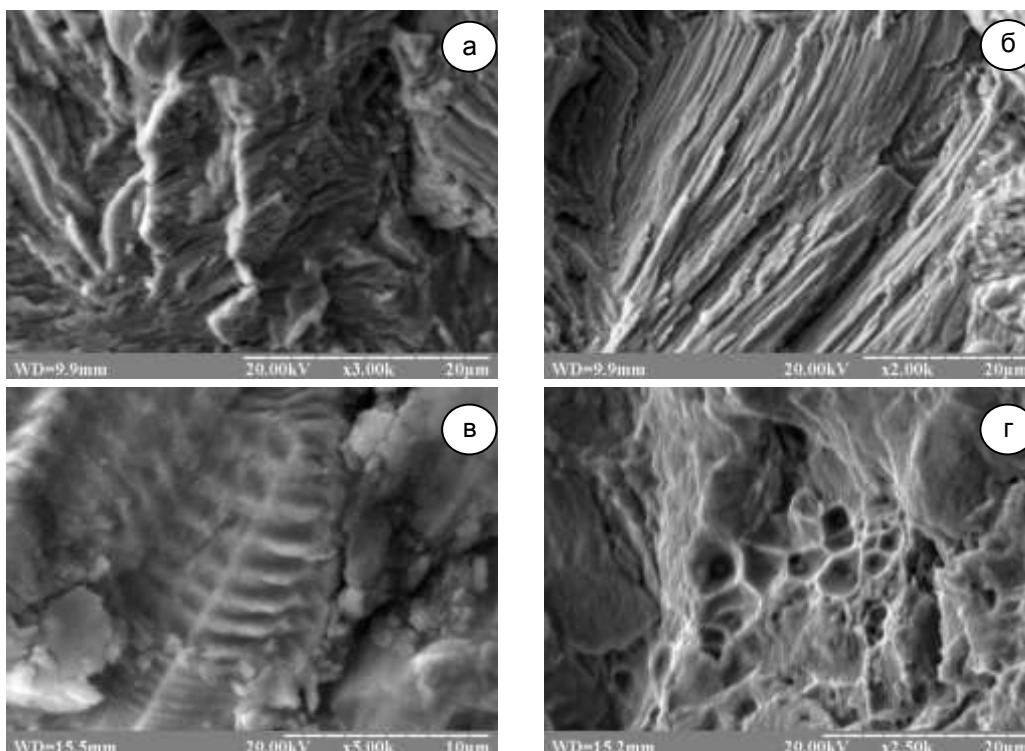


Рисунок 1. Поверхня втомного руйнування сталі ОСЛ при  $R = 0$  (а, б) та  $R = -1$  (в, г); напрям поширення макротріщини – знизу вгору.

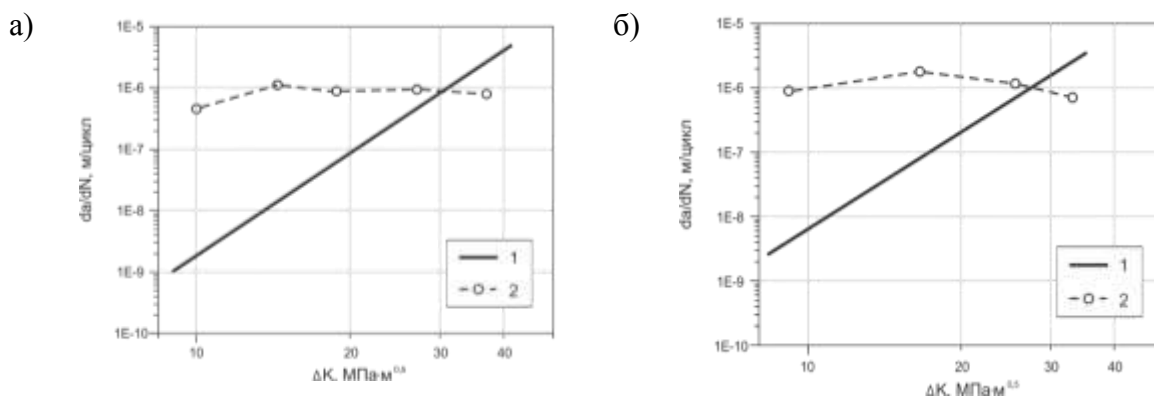


Рисунок 2. Макро- (1) та мікрошвидкості (2) росту тріщини в сталі ОСЛ при  $R = 0$  (а) та  $R = -1$  (б)

Порівняння результатів, одержаних за різного коефіцієнту асиметрії навантаження, показує, що мікрошвидкість росту втомної тріщини при  $R = -1$  для всієї середньоамплітудної ділянки ДВР є більшою, ніж мікрошвидкість при  $R = 0$ . Мікрошвидкості росту втомних тріщин зі збільшенням КІН в обох випадках змінюються подібним чином – спочатку зростають, а після  $\Delta K = 15 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  зменшуються. На ділянці ДВР до  $\Delta K = 26,7 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  мікрошвидкість росту тріщин є значно більшою за макрошвидкість, після цього значення макрошвидкості стає більшим за мікрошвидкість, в зламі з'являються ямки відриву, характерні для в'язкого руйнування.

#### Література:

1. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений [Текст]. В 2-х томах. Т. 1 / Под ред. Ю. Мураками; пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 448 с.
2. Иванова, В. С. Разрушение металлов / В. С. Иванова. – М.: Metallurgiya, 1979. – 168 с.