

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕТАПІВ ЗАРОДЖЕННЯ ТА ЗРОСТАННЯ ТРІЩИН ПРИ НАТУРНОМУ ВИПРОБУВАННІ НА ВТОМЛЕНІСТЬ

Для залізничної осі в залежності від стадій зростання тріщини наведені закономірні зміни структури поверхні руйнування при випробуваннях на втомлюваність.

Для железнодорожной оси в зависимости от стадий роста трещины приведены закономерные изменения структуры поверхности разрушения при испытаниях на усталость.

For a railway axle in dependence on stages of crack growth the regular changes of structure of destruction surface during the fatigue tests are presented.

В сучасних умовах роботи мережі залізничного транспорту України, коли одночасно зі збільшенням навантаження підвищують швидкість перевезень, оцінка ресурсу роботи елементів рухомого складу є достатньо актуальною проблемою. Враховуючи умови використання, можна вважати, що одним із найбільш навантажених елементів колісної пари є залізнична вісь. Циклічна зміна різноманітних впливів сприяє зародженню та зростанню тріщин різної природи походження від тріщин втомлення до тріщин імпульсного навантаження металу, при цьому швидкість їх зростання може змінюватися в дуже широкому інтервалі значень [1, 2].

Систематизація випадків формування тріщин в залізничних осях вантажних вагонів указує на необхідність систематичного підходу до оцінки процесів руйнування осей з урахуванням виконання вимог нормативно-технічної документації як при виготовленні осі, так і вимог стосовно умов експлуатації. Аналіз отриманих результатів показує, що при зародженні та подальшому зростанні тріщини розвиток процесів структурних перетворень, які в свою чергу обумовлені кінетикою накопичення дефектів кристалічної будови металу, в значній мірі зв'язані з первинним структурним станом металу при виготовленні осі [3].

Мета роботи – дослідження етапів зростання тріщини при циклічних навантаженнях під час ресурсних випробувань залізничної осі.

Для проведення досліджень була вибрана залізнична вісь поточного виробництва Дніпродзержинського металургійного комбінату. Проведення стандартних випробувань показало, що як за хімічним складом (0,46 % С, 0,75 % Мп, 0,22 % Si, 0,017 % S, 0,016 % Р), так і по рівню механічних властивостей при розтяжінні (межа міцності 667 Н/мм<sup>2</sup>, відносно по-

довження 24,5 %, ударна в'язкість 0,6 МДж/м<sup>2</sup>) метал залізничної осі повністю відповідає вимогам ГОСТу 4728-96. Металографічні дослідження проводили з використанням світлового мікроскопа "Eriquant". Фактографічні дослідження були використані для пояснень щодо змін внутрішньої будови металу під час зростання тріщини в процесі ресурсних випробувань залізничної осі.

Додатково до досліджень хімічного складу металу осі та рівня механічних властивостей на відповідність вимогам нормативно-технічної документації, був проведений аналіз мікроструктури сталі. Структура металу осі являє собою дрібно пластинчатий перліт з визначеною морфологією та кількістю структурно вільного фериту, який розташований по границях перлітних колоній (рис. 1).

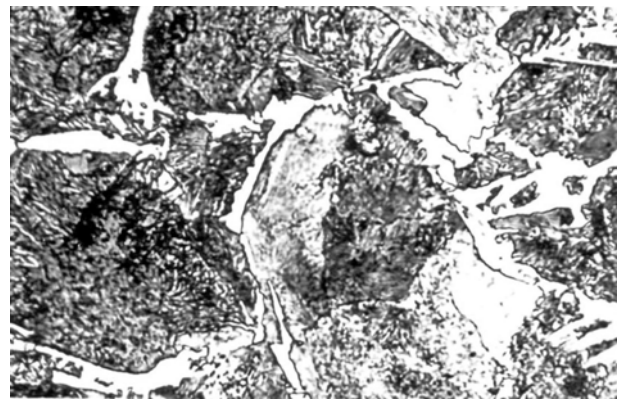


Рис. 1. Структура сталі шийки залізничної осі, (збільшення 800)

Структура, яка приведена на рис. 1, являє собою найбільш типовий вигляд та повністю відповідає стехіометрії. Окрім цього, дослідження мікроструктури металу показали наявність неметалевих включень різної природи походження, які за розмірами, кількістю та морфологічними особливостями повністю від-

повідують вимогам ГОСТу 4728-96.

Для оцінки рівня опору металу процесам зародження тріщин втоми були проведені дослідження по визначенню межі міцності з аналізу побудованої діаграми Велера (рис. 2).

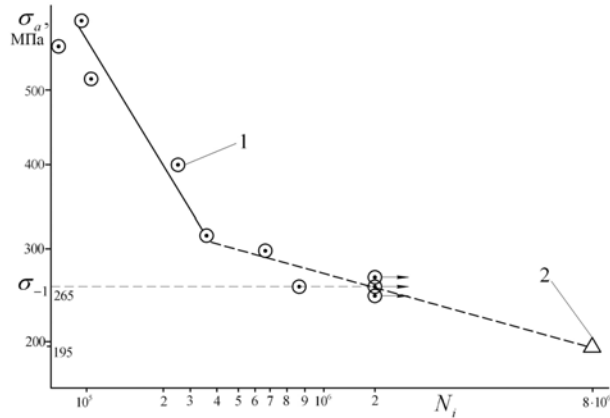


Рис. 2. Вплив амплітуди навантаження ( $\sigma_a$ ) на кількість циклів ( $N_i$ ) до руйнування зразка (1) і залізничної осі (2)

Випробування проводили на циліндричних зразках, які піддавалися навантаженню при згині з обертанням. По зовнішньому вигляду діаграму необхідно підрозділити на дві ділянки: для кількості циклів навантаження до  $4 \cdot 10^5$  та більше цього значення, які відповідають мало- та великоцикловому втомленню, відповідно. Враховуючи той факт, що для оцінки міцнісних характеристик металу, коли випробування проводилось на зразках, часто обмежують кількість циклів до руйнування базовими значеннями, в першому наближенні можна прийняти значення  $265 \text{ Н/мм}^2$  як умовну величину межі міцності при втомі. Однак, за методикою натурних випробувань на втомлюваність залізничних осей амплітуда навантаження дорівнювала  $195 \text{ Н/мм}^2$ , а  $N_i$  руйнування досягло значення  $8 \cdot 10^6$  циклів. Незважаючи на неспівпадіння схеми навантаження зразків (згин з обертанням) та при натурних випробуваннях залізничної осі (згин), разом з впливанням масштабного фактора, була отримана достатньо висока кореляція експериментальних даних (рис. 2). Отриманий результат дозволяє переносити пояснення щодо стадійності процесів втомлення, отриманих на зразках, на загальну картину розвитку тріщини при руйнуванні залізничної осі (рис. 3).

За зовнішніми якісними ознаками поверхню зламу можна підрозділити на декілька областей (рис. 4). В області I, в місці А відбулося зародження тріщини, яка за рахунок накопичення

дефектів кристалічної будови в гирлі при циклічному навантаженні послідовно зростала.

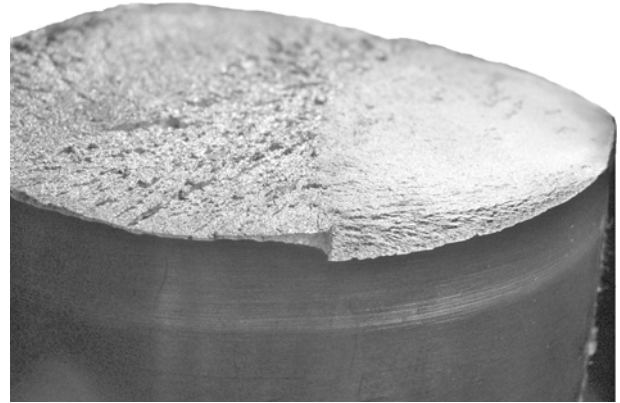


Рис. 3. Вигляд фрагменту поверхні руйнування залізничної осі після натурних випробувань

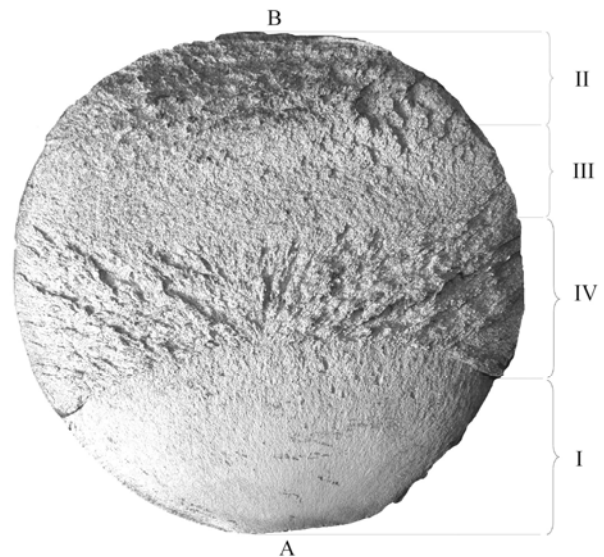


Рис. 4. Злам залізничної осі після випробувань на циклічний згин, (зменшення в 2,3 рази)

Зміна вигляду зламу свідчить, що послідовне зниження перетину неушкодженого металу осі супроводжувалось неухильним підвищенням швидкості від інкубаційного до прискореного періодів [2, 4]. Але за рахунок симетричного циклу навантаження, коли до 30...35% перетину осі було пройдено тріщиною, а її орієнтація послідовно відхилялась від площини перетину (рис. 3), при визначених умовах її зростання було зупинено. Обумовлено наведене явище формуванням умов на протилежній боковій поверхні другого зародка тріщини (В). Висока швидкість зростання тріщини В, практично без ознак втомлення привела до розвитку процесів деформаційного зміцнення і, як наслідок цього, до підвищення опору зростаючої тріщини. Внаслідок цього подальше зростання тріщини перейшло в область III, з явними озна-

ками малоциклового втомлення. Підтверджують це формування чисельних дрібних борозенок (рис. 4).

Після досягнення перетину неушкодженого металу критичного значення відбувся перехід тріщини від осередків А і В у стадію остаточного статичного долому (IV). Достатньо висока швидкість остаточного руйнування осі підтверджується наявністю радіальної зони в зламі з дуже грубими рубцями. Окрім цього, орієнтація наведених рубців показує, що домінуючим в формуванні зони IV є розповсюдження руйнування від первинної тріщини втоми від осередку А.

На підставі проведених досліджень, за відсутністю явних ознак по впливу на характер зростання тріщин втомлення з боку структурних параметрів металу (неоднорідність структури металу, перебільшення припустимої межі по впливу неметалевих включень), можна вважати, що залізнична вісь являє собою достат-

ньо надійний елемент рухомого складу в разі дотримання вимог нормативно-технічної документації щодо умов її використання.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Трошенко В. Т. Усталость и неупругость металлов. – К.: Наук. думка, 1971. – 267 с.
2. Вакуленко І. О. Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень при зародженні тріщин / І. О. Вакуленко, О. О. Чайковський, М. А. Грищенко // МтаТОМ, 2007. – № 2. – С. 44-47.
3. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003, – 94 с.
4. Иванова В. С. Современные представления о природе усталостного разрушения и новые направления исследований. – В кн.: Усталость металлов и сплавов. – М.: Наука, 1971. – С. 3-14.

Надійшла до редколегії 27.03.2008.