

## ПРО ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ВТОМІ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ З ОСОБЛИВОСТЯМИ БУДОВИ ПОВЕРХОНЬ РУЙНУВАННЯ

Для сталі залізничної осі, в залежності від амплітуди навантаження, наведено закономірні зміни структури при випробуваннях на втомлюваність.

Для стали железнодорожной оси, в зависимости от амплитуды нагружения, приведены закономерные изменения структуры при испытаниях на усталость.

For the rail axle steel the regular changes of structure during the fatigue test in dependence on strength amplitude are presented.

В процесі експлуатації залізничні вісі колісних пар піддаються чисельним циклічним навантаженням. Спрямованість експлуатації залізничного транспорту в напрямку підвищення питомого навантаження на залізничну вісь колісної пари, разом із зростанням швидкості руху, обумовлює за необхідне розробляти пропозиції по підвищенню експлуатаційної безпеки опорних елементів рухомого складу. Окрім пропозицій по зміні структурного стану металу залізничної осі за рахунок використання різноманітних обробок зміцнення [1–3] або конструктивних рішень [4], має неабиякий інтерес оцінка процесів структурних змін у металі залізничної осі під час циклічного навантаження.

Матеріалом для дослідження була залізнична вісь колісної пари, яка виготовлена із сталі 45. Дослідження структурних змін в сталі під час циклічного навантаження проводили на зразках, які піддавались знакозмінному згину за схемою симетричного циклу на багатопозиційній машині «Сатурн-10». Після руйнування зразків визначали ступінь накопичення дефектів кристалічної будови з використанням методик рентгеноструктурного аналізу, розміри структурних елементів поверхонь руйнування.

Аналіз експериментальних даних [5, 6] свідчить, що визначеним ділянкам кривої циклічного навантаження (рис. 1) повинні відповідати закономірні зміни внутрішньої будови вуглецевої сталі.

Враховуючи, що процес накопичення дефектів кристалічної будови під час циклічного навантаження сталі залежить від визначеної низки складових, їх сумарний вплив може бути оцінений за рівнем мікронапружень, або викривлень другого роду ( $M$ ).

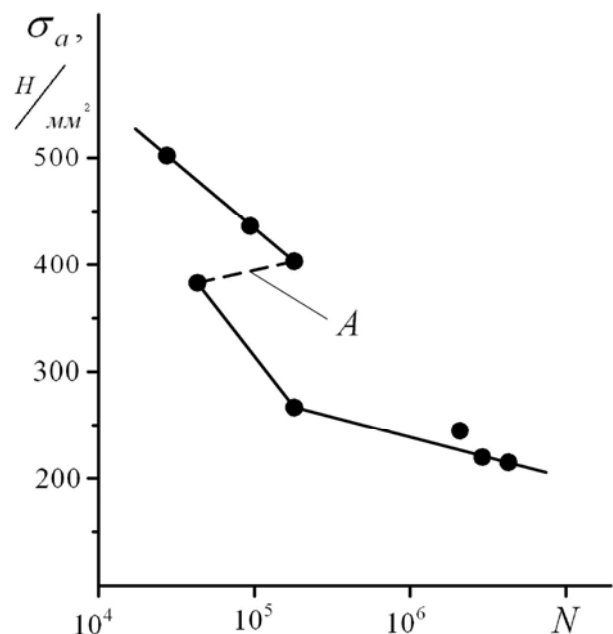


Рис. 1. Крива циклічного навантаження сталі 45 (A – область лінії розриву)

На рис. 2 наведено залежність зміни величини  $M$  від амплітуди навантаження зразків ( $\sigma_a$ ). Пропорційно збільшенню величини  $\sigma_a$  спостерігається підвищення викривлень другого роду. Винятком можуть бути значення  $M$ , які відносяться до амплітуд навантаження 227 та  $510 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ . Якщо у першому випадку зразок не

був доведений до руйнування після  $8 \cdot 10^6$  кількості циклів та рівень викривлень другого роду склав достатньо високі значення, то для амплітуди  $510 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  картина має інше тлумачення. Річ у тому, що характер поведінки мета-

лу при циклічному навантаженні, при амплітуді  $510 \frac{H}{MM^2}$ , за своїми ознаками повинен бути віднесений до циклічного перевантаження, що обумовлює високий рівень неоднорідності розподілу дефектів кристалічної будови.

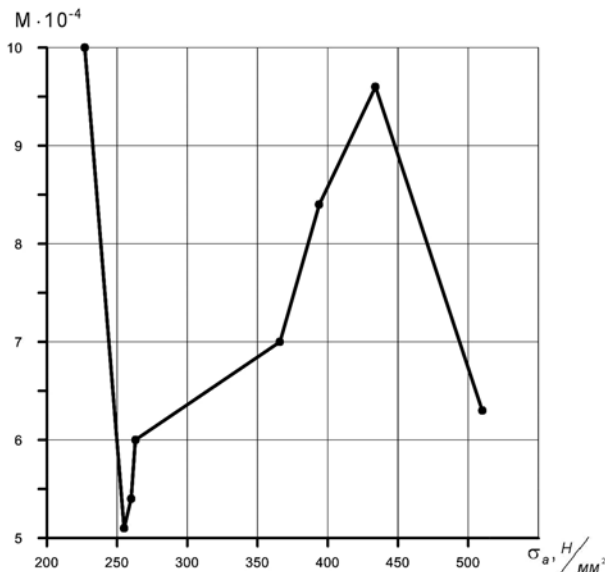


Рис. 2. Залежність величини викривлень другого роду кристалічної решітки фериту від амплітуди навантаження

На підставі цього, висока неоднорідність дефектів приводить до дуже швидкого їх накопичення в локальних мікрооб'ємах до максимально припустимих значень і, як наслідок цього, до швидкого руйнування металу [7].

При циклічному навантаженні, зміна знаку діючих напружень супроводжується чергуванням процесів накопичення дефектів кристалічної будови та їх анігіляції. Окрім оцінки сумарної величини щільності накопичених дефектів, визначеного значення для розуміння процесів зародження мікротріщин, характеру їх зростання набуває однорідність розподілу дефектів. Враховуючи, що моменти, які відповідають якісним змінам в розташуванні дефектів кристалічної будови, наприклад виникнення неомогенностей в розподілі дислокацій, перетворення їх у чарункову дислокаційну структуру, повинні мати обов'язковий відбиток на характеристиках міцності та на особливостях будови поверхонь руйнування [1, 5]. Дійсно, як показали структурні дослідження поверхонь руйнування, розмір фасеток при збільшенні до 50 разів має визначену залежність від амплітуди навантаження (рис. 3). Парне нанесення одних значень розміру фасеток при збільшенні до 50 разів (позначено як  $D$ ) проти відповідних величин  $M$  показує існування кореляційного

зв'язку між ними, хоча коефіцієнт кореляції значно менший порівняно з величиною інтенсивності накопичення дислокацій за цикл навантаження [5].

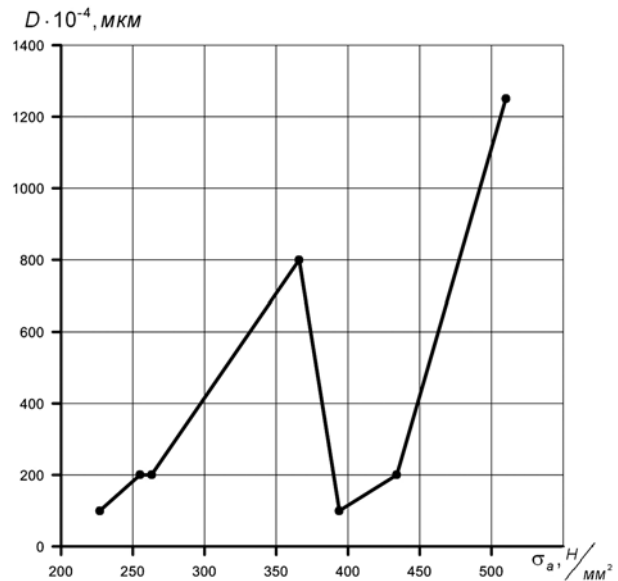


Рис. 3. Зміна величини  $D$  від амплітуди циклічного навантаження

Подальші дослідження поверхонь руйнування показали, що у більшості випадків фасетки великих розмірів складаються із більш дрібних, позначимо для відмінності як  $d$ . Характер зміни  $d$  від амплітуди навантаження наведений на рис. 4.

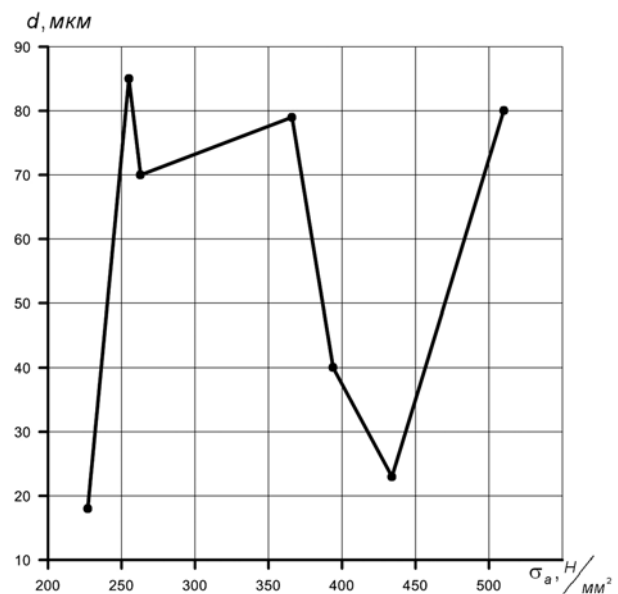


Рис. 4. Зміна величини  $d$  від амплітуди навантаження

Пошук можливих кореляційних зв'язків величини  $d$  з характеристиками кристалічної будови вуглецевої сталі показав існування дос-

татньо однозначного зв'язку з розміром областей когерентного розсіювання рентгенівських променів ( $L$ ) (рис. 5). Немонотонний характер залежності викривлень другого роду від амплітуди навантаження показує, що визначеним ділянкам кривої втомлення відповідають якісно різні процеси структурних перетворень і, як наслідок цього, різні рушійні сили, які приводять до зародження мікротріщин.

Так, для малих амплітуд ( $227 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ) щільність накопичених дислокацій досягла значень приблизно в 2...2,5 рази більших порівняно з аналогічною характеристикою для  $\sigma_a = 225 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  та залишилась більшою за абсолютними значеннями для всіх наступних амплітуд циклічного навантаження.

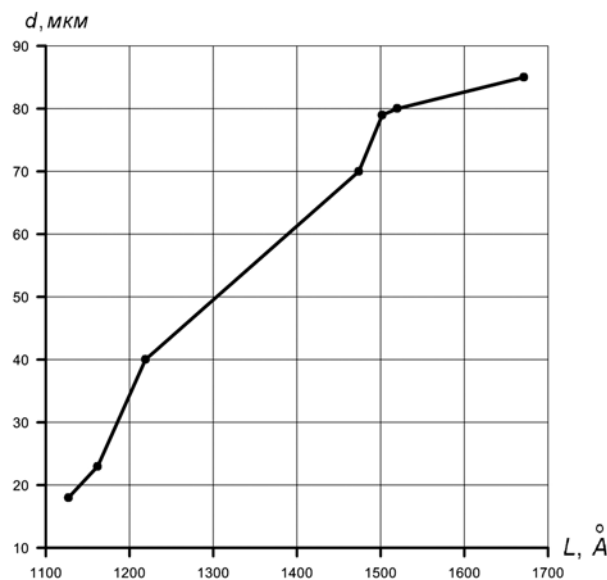


Рис. 5. Взаємозв'язок між величинами  $d$  і  $L$  (1 – експериментальні дані, 2 – визначено з екстраполяції, рис. 3 за умови, коли  $L = 1127 \text{ \AA}$ )

Одне із пояснень наведеного результату – чим менша амплітуда навантаження, тим менша кількість дефектів кристалічної будови залишається в системі після циклічної зміни етапів деформаційного зміцнення та розвитку анігіляційних процесів.

Таким чином, момент виникнення неомогенностей в розташуванні дефектів кристалічної будови, в першу чергу дислокацій, зсувається в сторону більшої сумарної кількості циклів.

Враховуючи, що формування неоднорідностей в гомогенному розташуванні дислокацій являє собою початкові етапи виникнення та удосконалення дислокаційної чарункової стру-

ктури [5], а елементи її будови, такі як субграніці, перетворюються в місця зародження субмікротріщин, збільшення рівномірності розташування дефектів приведе до підвищення витривалості металу.

Для амплітуд навантаження від  $225 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  і вище, монотонне зростання  $M$  указує на збільшення мікронапружень в металі, що повинно знижувати витривалість при циклічному навантаженні. Сумісний аналіз характеру залежності  $d$  і  $M$  від амплітуди навантаження (рис. 2, 4) указує на можливість існування кореляційного зв'язку між ними. Дійсно, після парного нанесення однієї величини проти іншої можна вважати, що існує однозначне обернено пропорційне співвідношення (рис. 6).

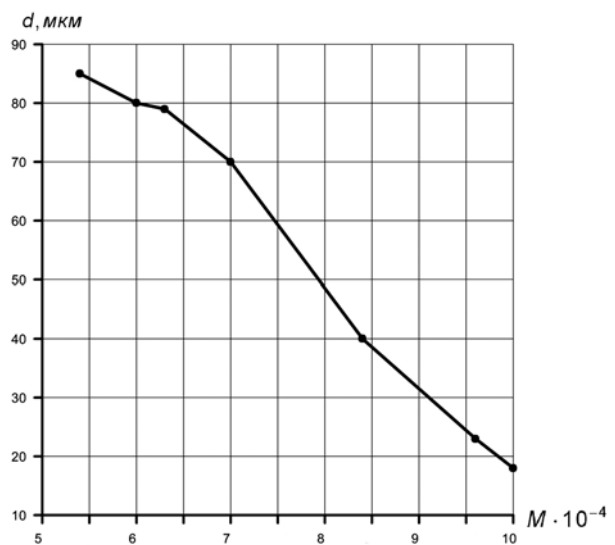


Рис. 6. Взаємний зв'язок між розміром дрібних фасеток зламу і величиною викривлень другого роду кристалічної решітки фериту (1 – експериментальні дані, 2 – визначено з екстраполяції, рис. 5)

Причому, розмір фасетки зламу, який було визначено екстраполяцією із співвідношення  $d - f(M)$  (рис. 5), що відповідає амплітуді навантаження  $227 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  зразка, який не було доведено до руйнування, достатньо добре відповідає залежності  $d - f(M)$  (рис. 6).

Таким чином, на підставі аналізу кореляційних зв'язків між характеристиками, які дають змогу оцінити особливості будови поверхонь руйнування та параметрами циклічного навантаження вуглецевої сталі, визначено, що однією із складових процесу підвищення витривалості металу є усунення моменту виникнення неомогенностей в розподілі дефектів кристалічної

будови, які накопичуються в металі під час деформації.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вакуленко, І. О. Чинники, які впливають на розвиток втомленості металу в процесі експлуатації залізничних коліс [Текст] / І. О. Вакуленко, О. М. Перков, М. А. Грищенко // Залізн. трансп. України. – 2007. – № 5. – С. 70-71.
2. Вакуленко, І. О. Вплив дисперсності структурних складових вуглецевої сталі на опір руйнуванню [Текст] / І. О.Вакуленко, М. А. Грищенко, О. М. Перков // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 237-239.
3. Патент № 31731 [Текст] / І. О. Вакуленко, О. М. Перков, М. М. Грищенко. – 2008, Бюл. № 8.
4. Патент № 31374 [Текст] / І. О. Вакуленко, О. М. Перков. – 2008, Бюл. № 8.
5. Вакуленко, І. О. Аналіз процесів структурних змін в металі залізничної осі за циклічного навантаження [Текст] / І. О. Вакуленко, М. А. Грищенко // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 642. – С. 69-73.
6. Вакуленко, І. О. Аналітичне дослідження діаграм циклічного навантаження [Текст] / І. О. Вакуленко, О. О. Чайковський // МТОМ. – 2009. – № 2. – С. 45-48.
7. Вакуленко, І. О. Оцінка коефіцієнта інтенсивності напружень для умов неконтрольованого зростання тріщини [Текст] / І. О. Вакуленко, М. М. Грищенко, О. М. Перков // Сб. науч. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение». – 2007. – Вып. 41. – Ч. 2. – С. 58-61.

Надійшла до редколегії 09.02.2010.

Прийнята до друку 15.02.2010.