

ОПР РОЗПОВСЮДЖЕННЮ ВТОМНОЇ ТРІЩИНИ В ЗМІЦНЕНИХ СТАЛЯХ

А.С. Опальчук

FATIGUE CRACK RESISTANCE OF THERMOMECHANICALLY TREATED STEELS

A.S. Opalschuk

Національний аграрний університет, Україна

Abstract. The results of resistance of destruction of hardening steels in the process of fatigue test are shown.

Руйнування конструкційних матеріалів в умовах експлуатації визначається їх опором розповсюдженню тріщини, що визначає схильність матеріалу до крихкого руйнування під дією внутрішніх мікронапружень, що виникають в пластичній зоні попереду вістря тріщини [1]. Часто руйнування матеріалу відбувається при напруженнях менших границі текучості, особливо для зміцнених матеріалів різними методами. Це пояснюється підвищеною чутливістю структури до концентраторів напружень зміцненого матеріалу.

В сучасній механіці твердого тіла існує десятки математичних залежностей визначення швидкості розповсюдження втомної тріщини в металах і сплавах в залежності від різних умов навантаження, дії зовнішнього середовища та ін. Але, як показує практика, проблема руйнування конструкційних матеріалів настільки складна, що не завжди можливе формальне використання математичних розрахункових методів, оснований на теорії пружності і опору матеріалів без врахування мікроструктурного стану і наявності дефектів кристалічної будови, що діють на стан внутрішніх напружень в сплаві.

На підставі численних досліджень встановлено, що процеси втомного руйнування протікають за різними механізмами в залежності від природи матеріалу, виду зміцнення, умов навантажень і обумовлені утворенням дефектів, і пошкоджень в локальних об'ємах матеріалу.

В роботі приведені результати досліджень термічно- і термомеханічно- зміцнених середньовуглецевих сталей 40X, 40XГ і 40XГР опору розповсюдження втомних тріщин. В'язкість руйнування зміцнених сталей оцінювали за параметром Ірвіна (K_{IC}), який розраховували за даними випробувань на втому за методикою В.С.Іванової [2].

Відповідно дислокаційним уявленням втомного руйнування, зародження тріщини відбувається в об'ємах структури з найбільшою щільністю дислокацій [3, 4, 6], коли втомна тріщина в змозі розвиватися за рахунок переміщення дислокацій під дією мікронапружень у вершині тріщини. У випадку недостатньої пластичності матеріалу зростає здатність втомної тріщини до переміщення за рахунок збільшення напруження при її вершині [5].

В процесі досліджень втомних зломів зразків на машині УМ-4 при згинанні в одній площині з симетричним циклом навантажень з базою випробувань 10^7 циклів нами було встановлено, що втомні зломи утворюються в площинах нормальних до осі зразків. В зломах термомеханічно-зміцнених зразків чітко розрізняються зони повільного і прискореного розвитку втомних тріщин. Основну частину перерізу зломів займає зона прискореного розвитку тріщини.

Відомо, що згідно механізму Коттрелла [6] зародження тріщини відбувається на пересіченні двох смуг ковзання в результаті зливання вектора Бюргера b з дислокаціями $1/2a|11\bar{1}|$ в площині ковзання (101) і дислокації $1/2a|111|$ в площині ковзання $(10\bar{1})$. Сумарна дислокація $a|001|$ розміщується вздовж напрямлення $|010|$ в площині ковзання (100) :

$$\frac{1}{2}a|11\bar{1}| + \frac{1}{2}a|111| \rightarrow a|001|$$

Таким чином, утворена в результаті взаємодії дислокацій, мікротріщина лежить в площині ковзання (001) .

Нами було виявлено, що в зразках, зміцнених гартуванням струмами високої частоти, зародження втомної тріщини, в більшості випадків, починається на поверхні зразків (рис.1а), а в термомеханічно-зміцнених – на границі розділу зміцненого поверхневого шару і незміцненої серцевини (рис.1б, в). Це пояснюється тим, що крім наявності дислокаційної структури в перехідній зоні між зміцненою поверхнею і серцевиною створюється найбільша різниця між внутрішніми напруженнями стискування і розтягування.

Всі зломи, в основному однополюсні, хоча трапляються двополюсні (рис.1в) в зразках термомеханічно-зміцнених, що свідчить про можливість гальмування росту втомної тріщини в процесі навантаження. В таких випадках центр зародження нової втомної тріщини переміщується до поверхневого шару циліндричного зразка із-за перерозподілення внутрішніх напружень в дислокаційній структурі сталі.

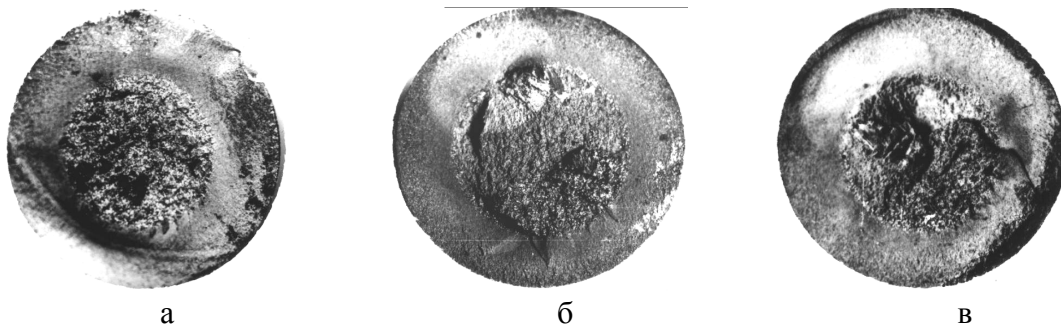


Рис. 1. Фрактографії втомних зломів сталі 40ХГР: а – після гартування СВЧ; б, в – після зміцнення ТМО. х 2,5.

Як показали електроннофрактографічні дослідження, на стадії циклічної мікротекучості в процесі мікропластичної деформації відбувається більш інтенсивна пластична деформація поверхневих шарів, що приводить до зростання густини дислокацій, спричиняючи циклічне зміцнення.

У втомних зломів зразків термомеханічно-зміцнених, центр зародження тріщини розміщений в перехідній зоні повільного розвитку тріщини, яка має вид замкнутої світлої плями еліпсоподібної форми, розміщеної, в основному, в зміцненому поверхневому шарі (рис.1б).

У випадку коли мікротріщина розвивається в незміцненій серцевині, то на якомусь етапі розвитку вона призупиняється і тоді виникає новий центр зародження нової тріщини (рис.1в). Це можна пояснити тим, що внаслідок деформаційного старіння сталі в зоні безпосереднього прилягання до вершини тріщини відбувається

релаксація напружень в цій зоні, що є причиною гальмування розвитку попередньо утвореної тріщини.

В усіх зломах сталей термічно-зміцнених струмами високої частоти в зоні повільного розвитку тріщин присутні видовжені мікросмуги, що орієнтовані нормально до напрямку росту втомної тріщини (рис.2а). В термомеханічно-зміцнених зразках характерна наявність переривчатих мікросмуг невеликої протяжності (рис.2б), що характеризує процес зупинки і послідуного локального просування тріщини.

Наявність втомних мікросмуг з різною морфологією, в залежності від технології зміцнення, характеризує відмінність реалізації деформації в об'ємах, що прилягають до вершин тріщин. В зонах переходу від зміцненого шару до серцевини в зломах термічно-зміцнених зразків переважає крихка складова (рис.3а), а в термомеханічно-зміцнених – в'язка складова (рис.3б), яка характеризується більшою рельєфністю, що є наслідком значної пластичної деформації при вершині втомної тріщини цих зразків.

Таким чином, місце знаходження центра зародження втомних мікротріщин сталей в залежності від попередньої зміцнюючої обробки впливає на механізм її розповсюдження.

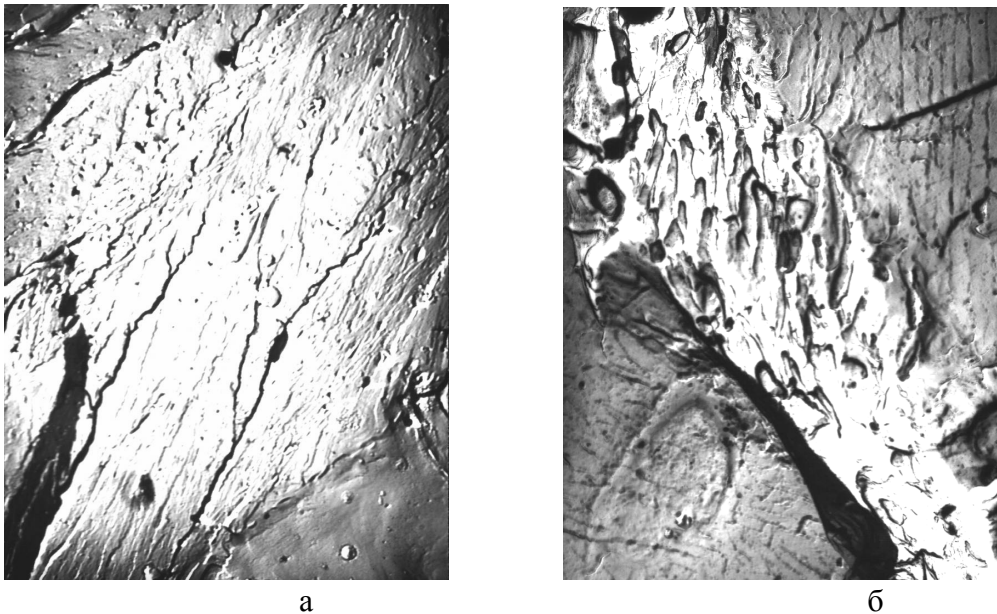


Рис.2. Мікрофрактографії втомних зломів сталі 40ХГР в зоні повільного розвитку тріщини: а – після гартування СВЧ; б – після зміцнення ТМО. х 8000.

Крім того переміщення полюса зародження втомної мікротріщини в термомеханічно-зміцнених зразках в перехідну зону, запобігає впливу поверхневих концентраторів і зовнішнього середовища на процеси втомного руйнування, що підтверджується характеристиками втомної міцності, приведеними в роботі [7].

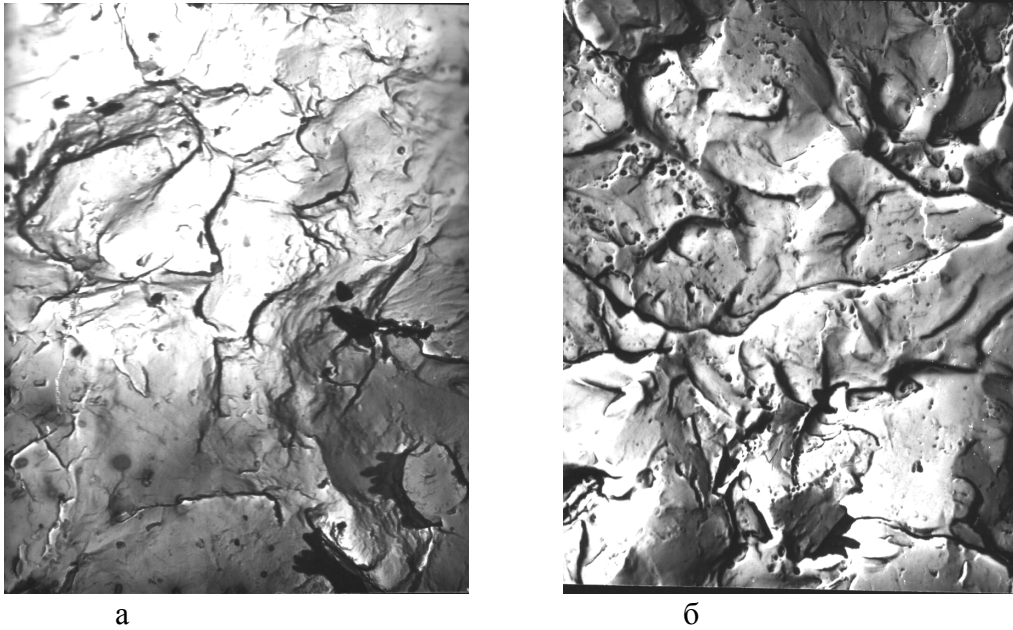


Рис.3. Мікрофрактографії втомних зломів сталі 40ХГР в перехідній зоні: а – після гартування СВЧ; б, в – після зміцнення ТМО. х 8000

В результаті досліджень встановлено позитивний вплив термомеханічного зміцнення сталей на процеси тріщиноутворення при втомних навантаженнях порівняно із загартованими струмами високої частоти, що підтверджується підвищенням опору розповсюдження втомної тріщини в зразках зміцнених термомеханічною обробкою.

Література

1. Злочевський А.Б., Шувалов А.В. Факторы тормозящие рост усталостных трещин после перегрузок // Физико-химическая механика материалов. 1985. №2. – С.41-46.
2. Иванова В.С., Кудрявцев В.Г. Метод определения вязкости разрушения (K_{IC}) по данным образцов на усталость. Проблемы прочности. 1970. №3. – С.17-19.
3. В.В.Панасюк, А.Е.Анрейкив, С.Е.Ковчик. Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов. К. Наукова думка. 1977. 276 с.
4. В.М.Финкель. Физические основы торможения разрушения. М.Металлургия. 1977. 358 с.
5. Т.Екобори. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. М.Металлургия. 1971. 263 с.
6. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. К. Наукова думка. 1981. 344 с.
7. Опальчук А.С. Опір руйнуванню термомеханічно-зміцнених сталей. Зб. Трибофатика. Тернопіль. 2002. Т.1. С.343-346.