

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

**ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМ. ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

Випуск 75

**«МЕХАНІЗАЦІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ВИРОБНИЦТВА»**

Том 2

Харків 2008

УДК 631.171
ББК 40.71

Друкується за рішенням вченої ради Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка від 23.10.2008 р., протокол № 2

В збірник включені наукові праці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, провідних вищих навчальних закладів, науково-дослідних інститутів і підприємств, в яких відображені результати теоретичних і експериментальних досліджень.

Редакційна колегія:

Член-кореспондент УААН, професор **Мазоренко Д.І.** (відповідальний редактор); академік УААН, професор, д. т. н. **Зайка П.М.**; член-кореспондент УААН, професор, д. т. н. **Тіщенко Л.М.**; професор, д. т. н. **Войтов В.А.**; професор, д. т. н. **Завгородній О.І.**; професор, д. т. н. **Лебедєв А.Т.**; професор, д. т. н. **Манчинський Ю.О.**; професор, д. т. н. **Морозов І.В.**; професор, д. т. н. **Пастухов В.І.** (заступник відповідального редактора); професор, к. т. н. **Науменко О.А.**; професор, к. т. н. **Сандомирський М.Г.**; доцент, к. т. н. **Бакун М.В.**; доцент, к. т. н. **Кірієнко М.М.**; доцент, к. т. н. **Лук'яненко В.М.** (відповідальний секретар).

Технічні секретарі: **Богомолова В.П., Жиліна О.О.**

Відповідальний за випуск **Пастухов В.І.**

Наукове фахове видання

Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

Випуск 75

«Механізація сільськогосподарського виробництва»

Том 2

ISBN 5-7987-0176 X

© Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2008 р.

КІНЕТИКА РУЙНУВАННЯ ТЕПЛОСТІЙКОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО НАПРАЦЮВАННЯ

Марущак П.О., Бішак Р.Т., Ясній О.П.

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

Пилипенко А.П.

Національний аграрний університет

Досліджено закономірності деформування сталі 25Х1М1Ф на макро-, мезо- і мікрорівні за статичного одновісного розтягу. Термоциклічне напрацювання знецінює матеріал, збільшуючи дефектність структури на різних структурно-масштабних рівнях.

Під час термоциклічного навантаження відбувається вичерпування пластичності матеріалу, утворення смуг ковзання, які в подальшому спричиняють тріщиноутворення та непрогнозоване руйнування конструкції. Оцінка тримкої здатності матеріалу, після термоциклічного напрацювання, з урахування структурних рівнів деградації, дозволить підвищити точність прогнозування його залишкової довговічності [1,2]. Особливо актуальною є оцінка тріщиностійкості матеріалів на заключних стадіях деформування, урахування впливу включень та вторинних фаз, оскільки вони сприяють пороутворенню та перерозподілу напружень матриці, змінюючи статичну тріщиностійкість матеріалу. Крім того, ріст пор навколо включень може спричинити порушення лінійності взаємозв'язку макронапружень та мікродеформацій [3].

Метою даної роботи є оцінка впливу термоциклічного напрацювання на закономірності руйнування теплостійкої сталі на заключних стадіях деформування.

Методика експериментальних досліджень. Для випробувань на статичний розтяг використовували зразки діаметром 5,0 мм попередньо термоцикльовані в діапазоні температур 13↔500 0С з частотою 0,013 Гц [4]. Тривалість напрацювання становила 1000, 2000, 2500 циклів. Зразки статично розтягували за умов рівноважного деформування на випробувальній установці Д-100Рч з комп'ютеризованою вимірною системою до стадії, що передус утворенню макротріщини, це дозволило фізично обґрунтувати викопчення розсіяних пошкоджень на мікро-, та мезорівні [1].

$$A_p = \frac{F_k \Delta l_p}{S_k^2}, \quad (1)$$

де F_k - площа поверхні руйнування; Δl_p - видовження зразка на стадії росту макротріщини; S_k - опір матеріалу відриву [2].

$$K_k = \sqrt{S_k \Delta l_p E}, \quad (2)$$

де $\overline{\Delta l_p}$ - нормована, шляхом приведення до початкової площі перерізу зразка, величина видовження, на стадії росту макротріщини відриву, E - модуль Юнга матеріалу.

Проведено статистичний аналіз форми та розмірів включень в сталі 25X1M1Ф [5]. Об'єкти для мікроструктурного дослідження методом тонких фольг вирізали із робочої ділянки зразків. На фольгах визначали геометричні розміри включень та дисперсоїдів. Розміри частинок, відмінних від кулеподібної форми, розраховували за еквівалентним діаметром частинки. За умови рівності об'ємів частинки довільної форми v_v , та частинки кулеподібної форми $v_k = v_v$ еквівалентний діаметр наближено визначали згідно рівняння:

$$d_e = \varphi d_v, \quad (3)$$

де φ - коефіцієнт форми; d_v - діаметр кулеподібної частинки еквівалентного об'єму;

$$d_e = \sqrt{\frac{v_v}{0,524}}, \quad (4)$$

для кулеподібних частинок $\varphi=1$, округлих $\varphi=0,75$, подовгуватих $\varphi=0,58$, пластинчатих $\varphi=0,43$.

Аналіз форми та розміру включень. Сталь 25X1M1Ф містить значну кількість включень, які стабілізують структуру матеріалу.

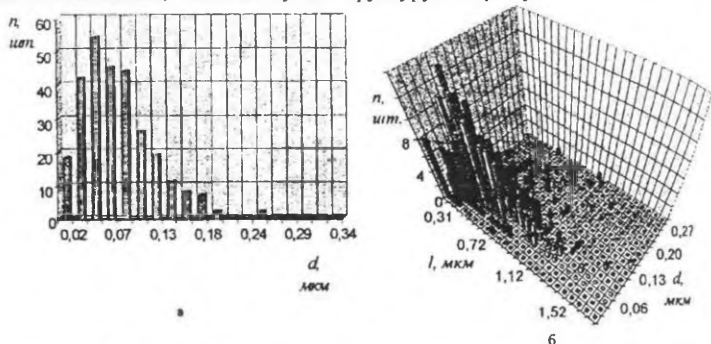


Рис 1 - Гістограма вибірки діаметрів круглих (а) та еліпсоїдних (б) включень [5].

Умовно можна виділити "великі" включення 1...10 мкм, та дрібні (дисперсоїди) до 1 мкм. Кількісну оцінку розмірів та форми включень проводили за результатами статистичного аналізу їх розподілу.

Дисперсійні і гранулометричні характеристики круглих та еліпсоїдних включень, середній еквівалентний діаметр (d_e) визначали методом оптичної мікроскопії. Діаметр включень розглядали згідно вибірки з 360 включень. На рис. 1 подано гістограму вибірки діаметрів круглих та еліпсоїдних включень. Помітно, що більшість включень кулеподібної форми мають розмір від 0,05 до

0,07 мкм. Такі вclusions зміцнюють матеріал, зберігають пластичність сталі 25X1M1Ф, проте не є значними концентраторами напружень [5].

Після приведення вclusions до еквівалентного діаметру, проведено їх апроксимацію логарифмічно – нормальним законом розподілу, з щільністю розподілу

$$p(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi D}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2D}}, \quad (5)$$

і функцією розподілу

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sqrt{D}}\right), \quad (6)$$

де Φ – функція Ляпласа.

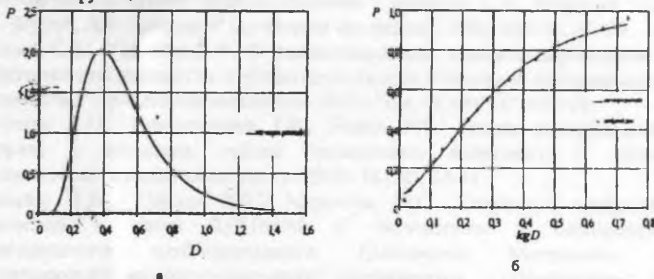


Рис. 2 – Густина розподілу та кумулятивна функція діаметрів дисперсодів сталі 25X1M1Ф

Включення як джерело пороутворення за статичного розтягу. На рис. 2 зображено діаграми розтягу сталі 25X1M1Ф у вихідному стані та після термоциклічного напрацювання. Метод повних діаграм розглядає деформування як ієрархічний процес: поетапне накопичення розсіяного пошкодження та проростання магістральної тріщини.

Помітно, що криві відрізняються за формою, зокрема збільшення термоциклічного напрацювання зменщує матеріал, що помітно за розвитком ділянки пластичності та збільшенням відносної деформації матеріалу, рис. 3.

Збільшення тривалості напрацювання знижує тримку здатність матеріалу, знижуючи умовні межі міцності та текучості (σ_B та $\sigma_{0,2}$) протягом напрацювання, таблиці 1.

Водночас, хоча зростання $\sigma_{0,1}$ як правило знижує K_{IC} для сталі 25X1M1Ф, спостерігали коливання параметру тріщиностійкості K_{IC} протягом напрацювання. Це, очевидно, пов'язано з закономірностями дисперсійного зміцнення та механізмами перерізання (руйнування) частинок дислокаціями за мікропластичного течіння. При цьому відбуваються процеси утворення та перерозподілу пор, мікротріщин, що змінює деформівну здатність матеріалу та його опір просуванню тріщини.

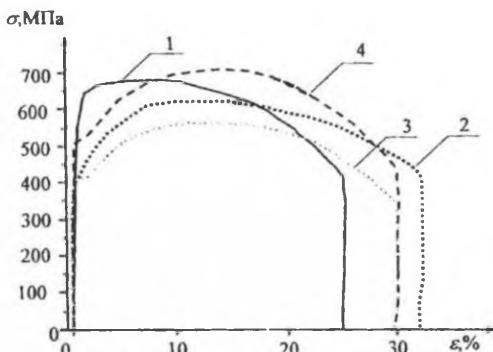


Рис. 3 – Повна діаграма розтягу сталі 25X1M1Ф

1- вихідний стан, 2,3,4- матеріал після термоциклічного напруження відповідно після 1500, 2000, 2500 циклів.

Таблиця 1 – Характеристики міцності та тріщиностійкості сталі 25X1M1Ф

Сталь	N, циклів	Твердість, НРВ	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	K_{λ} , МПа $\sqrt{м}$	K_{IC} , МПа $\sqrt{м}$
25X1M1Ф	0	74	650	700	356,3	81,95
	1000	85	510	720	463,7	106,7
	2000	76	412	630	368,4	84,7
	2500	72	410	550	425,9	98,0

Оскільки параметри тріщиностійкості K_{λ} та K_{IC} є взаємопов'язаними величинами значення K_{λ} приведено до K_{IC} [1,2].

Зміна параметрів пластичності матеріалу обумовлена кінетикою накопичення мікродфектів. На заключних стадіях деформування визначальною є зростання мікродфектів внаслідок розпушування матеріалу при пороутворенні та злиття мікропор. Пластичне деформування матеріал спричиняє коалесценцію пор навколо великих включень, водночас відбувається послаблення когезивного зв'язку й у малих включеннях.

Висновки. Виявлено розміри включень в сталі 25X1M1Ф та побудовано графік їх статистичного розподілу. Проаналізовано дисперсію форми розмірів включень.

Оцінено вплив попереднього термоциклічного напруження та зміни деформівної здатності та тріщиностійкості сталі 25X1M1Ф. В залежності від структурного стану сталі 25X1M1Ф ці процеси можуть мати дислокаційно-дифузійну, вакансійну природу. Циклічне термічне навантаження викликає зміну субструктури і мікроструктури металів, обумовлену зміною фізико-механічних властивостей.

Показано, що термоциклічне напрацювання сталі 25X1M1Ф формує структуру з неоднорідністю механічних властивостей, фазового складу, дефектної субструктури матеріалу, що виявляється на різних структурно-масштабних рівнях: макро- (зразок в цілому), мезо- (конгломерат зерен), мікрорівні (карбідна і дислокаційна підсистеми) і наноструктурному (твердий розчин) рівнях.

Список використаних джерел

1. Новые методы оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки / Лсбедсв А.А., Чаусов Н.Г.-К.: ИПМ ім. Г.С. Писаренка НАНУ, 2004.-133 с.
2. Исследование кинетики разрушения пластичных материалов на заключительной стадии деформирования / Лебедев А.А., Марусий О.И., Н.Г. Чаусов, Л.В. Зайцева // Проблемы прочности.-1983.-№1.-С. 12-18.
3. Нижник С.Б., Усикова Г.И. О закономерностях влияния параметров на характеристики прочности и трещиностойкости стареющих металлических материалов // Прикладная механика.-2005.-Том. 41.-№1.-С. 94-101.
4. Марущак П.О., Коноваленко І.В., Біщак Р.Т. Аналіз розтріскування поверхні і методика оцінки термовтоми матеріалів // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту.-2008.-№1.-С. 33-37.
5. Шульган И.В., Гладько В.Б., Марущак П.О. Структура карбидных включений в стали 25X1M1Ф // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы VI международной научно-технической конференции. – Новополюк: УО «ПГУ», 2007. – С. 203-204.

Анотація

Кинетика разрушения теплостойкой стали после термоциклической наработки

Марущак П.О., Біщак Р.Т., Ясний О.П., Пилипенко А.П.

Исследованы закономерности деформирования стали 25X1M1Ф на макро- мезо- и микроуровнях при статическом одноосном растяжении. Термоциклическая наработка разупрочняет материал, увеличивая дефектность структуры различных структурно-масштабных уровней.