

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

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.
Бакум 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.

Харків 2008

КІНЕТИКА РУЙНУВАННЯ ТЕПЛОСТИКОЇ 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 знемінює матеріал, збільшуєчи дефектність структури на різних структурно-масштабних рівнях.

Під час термоциклічного навантаження відбувається вичерпування пластичності матеріалу, утворення смуг ковзання, які в подальшому спричиняють тріщинутоvoreння та непрогнозоване руйнування конструкції. Оцінка тримкої здатності матеріалу, після термоциклічного напрацювання, з урахуванням структурних рівнів деградації, дозволить підвищити точність прогнозування його залишкової довговічності [1,2]. Особливо актуальну 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 тепlostікої сталі на заключних стадіях деформування.

Методика експериментальних досліджень. Для випробувань на статичний розтяг використовували зразки діаметром 5,0 мм попередньо термоцикликовані в діапазоні температур $13 \leftrightarrow 500$ °C з частотою 0,013 Гц [4]. Тривалість напрацювання становила 1000, 2000, 2500 циклів. Зразки статично розтягували за умов рівноважного деформування на випробувальній установці ZD-100Pu з комп’ютеризованою вимірювальною системою до стадії, що передує утворенню макротріщини, це дозволило фізично обґрунтувати заокруглення розсіяних пошкоджень на мікро-, та мезорівні [1].

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

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

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

493

де Δl_p - нормована, шляхом приведення до початкової площині переривчаста величина видовження, на стадії росту макротріщини відриву; E - модуль Юнга матеріалу.

Проведено статистичний аналіз форми та розмірів включень в сталі 25Х1М1Ф [5]. Об’єкти для мікроструктурного дослідження методом тонкого фольгу вирізали із робочої ділянки зразків. На фольгах визначали геометричні розміри включень та дисперсойдів. Розміри частинок, відмінних від кулеподібної форми, розраховували за еквівалентним діаметром частинки d_e за умови рівності об’ємів частинки довільної форми v_e , та частинки кулеподібної форми $v_k=v_e$ еквівалентний діаметр наближено визначали згідно рівняння:

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

де φ - коефіцієнт форми; d_y - діаметр кулеподібної частинки еквівалентного об’єму;

$$d_y = \sqrt{\frac{v_e}{0,524}}, \quad (4)$$

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

Аналіз форми та розміру включень. Сталь 25Х1М1Ф містить значну кількість включень, які стабілізують структуру матеріалу.

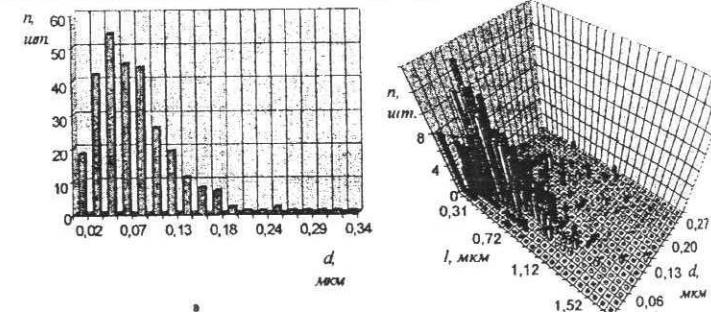


Рис.1 – Гістограма вибірки діаметрів круглих (а) та еліпсоїдних (б) включень [5].

Умовно можна виділити “великі” включения 1...10 мкм, та дрібні (дисперсойди) 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 оптичного 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

0,07 мкм. Такі включення змінюють матеріал, зберігають пластичність сталі 25Х1М1Ф, проте не є значними концентраторами напружені [5].

Після приведення включень 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 Лапласа.

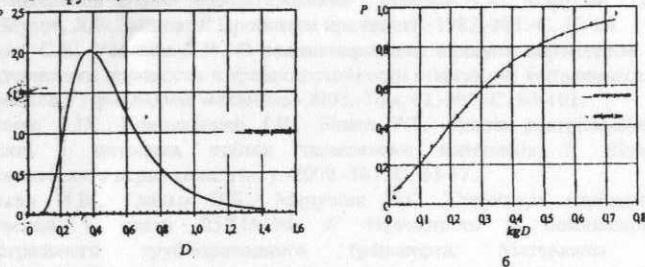


Рис. 2 – Густини розподілу та кумулятивна функція діаметрів дисперсоїдів сталі 25Х1М1Ф

Включення як джерело пороутворення за статичного розтягу. На рис. 2 зображені діаграми розтягу сталі 25Х1М1Ф у вихідному стані та після термоциклічного напрацювання. Метод повних діаграм розглядає деформування як ієрархічний процес: поетапне накопичення розсіяного поширення та проростання магістральної тріщини.

Помітно, що криві відрізняються за формою, зокрема збільшення термоциклічного напрацювання зменшує 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_{0,2} та σ_{0,2}) протягом напрацювання, таблиці 1.

Водночас, хоча зростання σ_{0,2}, як правило знижує K_{IC} для сталі 25Х1М1Ф, спостерігали коливання параметру тріщиностійкості K_A протягом напрацювання. Це, очевидно, пов'язано з закономірностями дисперсійного зміщення та механізмами перерізання (руйнування) частинок дислокаціями за мікропластичного течіння. При цьому відбуваються процеси утворення та перерозподілу пор, мікротріщин, що змінюють деформівну здатність матеріалу та його опір просуванню тріщини.

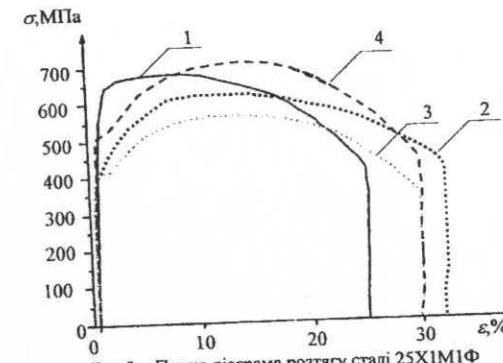


Рис.3 – Повна діаграма розтягу сталі 25Х1М1Ф
1- вихідний стан; 2,3,4- матеріал після термоциклічного напрацювання відповідно після 1500, 2000, 2500 циклів.

Таблиця 1 – Характеристики міцності та тріщиностійкості сталі 25Х1М1Ф

Сталь	N, циклів	Твердість, HRB	σ _{0,2} , MPa	σ _B , MPa	K _A , MPa√m	K _{IC} , MPa√m
25Х1М1Ф	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_A та K_{IC} є взаємопов'язаними величинами значення K_A приведено до K_{IC} [1,2].

Зміна параметрів пластичності матеріалу обумовлена кінетичкою накопиченням мікродефектів. На заключних стадіях деформування визначальними є зростання мікродефектів внаслідок розпушування матеріалу при пороутворенні та злиття мікропор. Пластичне деформування матеріалу спричиняє коалесценцію пор навколо великих включень, водночас відбувається послаблення когезивного з'язку ў малих включеннях.

Висновки. Виведено розміри включень в сталі 25Х1М1Ф та побудовано графік їх статистичного розподілу. Проаналізовано дисперсію форми розмірів включень.

Оцінено вплив попереднього термоциклічного напрацювання та зміни деформівної здатності та тріщиностійкості сталі 25Х1М1Ф. В залежності від структурного стану сталі 25Х1М1Ф ці процеси можуть мати дислокаційний, дифузійний, вакансійну природу. Циклічне термічне навантаження викликає зміну субструктур та мікроструктури металів, обумовлену зміною фізичних механічних властивостей.

Показано, що термоциклічне напрацювання сталі 25Х1М1Ф формує структуру з неоднорідністю механічних властивостей, фазового складу, дефектної субструктурі матеріалу, що виявляється на різних структурно-масштабних рівнях: макро- (разом в цілому), мезо- (конгломерат зерен), микрорівні (карбідна і дислокаційна підсистеми) і наноструктурному (твердий розчин) рівнях.

Список використаних джерел

1. Нові методи оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки / Лебедев А.А., Чаусов Н.Г.-К.: ИМ им. 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., Усиков 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., Гладью В.Б., Марущак П.О. Структура карбидных включений в стали 25Х1М1Ф // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы VI международной научно-технической конференции. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2007. – С. 203-204.

Анотация

Кинетика разрушения теплостойкой стали после термоциклической наработки

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

Исследованы закономерности деформирования стали 25Х1М1Ф на макро-, мезо- и микроуровнях при статическом одноосном растяжении. Термоциклическая наработка разупрочняет материал, увеличивая дефектность структуры различных структурно-масштабных уровней.