

УДК [669 – 131:669.14]:620.178.3

## КІНЕТИЧНІ ДІАГРАМИ РУЙНУВАННЯ МАРГАНЦЕВИСТИХ СТАЛЕЙ

Буніна Л. М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-13-54

**Анотація** – наведено дослідження багатоциклової витривалості кованих марганцевистих сталей. Показано, що комплексне розкислення сталі алюмінієм та фероцерієм підвищує опір руйнування при багатоцикловому навантаженні.

**Ключові слова** –кована сталь, неметалеві включення, кінетичні діаграми руйнування.

*Постановка проблеми.* Металургійні комбінати України, крім основних цехів, мають у своєму складі ремонтно-механічні бази (заводи), головною задачею яких є виготовлення змінних деталей металургійного обладнання. До складу ремонтно-механічних заводів входять цехи: ковальський, ливарний, термічний, механічний та інш. Характерною особливістю роботи цих цехів є індивідуальний та дрібносерійний характер виробництва, що сприяє браку заготовок (зливків, поковок та виливків) та зниженню якості деталей, що з них отримуються. Аналіз причин браку готових деталей металургійного обладнання показав, що основними причинами браку були: 1) «гарячі» та «холодні» тріщини; 2) крихкі руйнування внаслідок низької пластичності та в'язкості сталі; 3) втомні руйнування; 4) прискорене руйнування внаслідок недостатньої зносостійкості.

Одним з методів зниження браку та підвищення конструктивної міцності (показників міцності, надійності та довговічності) сталі є керування природою неметалевих включень шляхом модифікування сталі невеликими добавками лігатур на основі рідкоземельних (РЗМ) металів. Вони мають високу спорідненість до розчинених у сталі домішок сірки кисню, азоту і водню. Рідкоземельні метали сприяють відокремленню сульфідної або оксисульфідної фази на ранніх стадіях при кристалізації металу. При цьому сульфіди (оксисульфіди) мають глобулярну форму, що знижує їхній негативний вплив на властивості металу.

*Аналіз останніх досліджень.* Опір кованих сталей руйнуванню

при циклічних навантаженнях є одним з факторів, які визначають довговічність виготовлених з неї виробів. У теперішній час для опису поведінки сплавів, працюючих у таких умовах, широко застосовуються методи лінійної механіки руйнування, які розглядають коефіцієнт інтенсивності напруг (КІН) як основний фактор, який контролює швидкість росту втомних тріщин. Кінетичні діаграми втомного руйнування надають інформацію про опір матеріалу поширенню тріщини в залежності від умов навантажування. Згідно до багатьох літературних джерел, форма неметалевих включень грає визначну роль в процесах зародження втомних тріщин і руйнуванні залізобуглецевих сплавів при циклічному навантаженні [1–3]. Проте ці роботи не в повному обсязі досліджують процес руйнування кованих сталей.

*Формулювання цілей статті.* Метою роботи є аналіз вивчення впливу модифікування алюмінієм та фероцерієм у порівнянні з розкисленням алюмінієм сталей з низьким (0,09%) та середнім (0,40%) вмістом вуглецю з урахуванням їхньої технологічної текстури на багаточислово витривалість кованої сталі, бокінцеве розкислення (модифікування) є найбільш технологічним і економічним методом керування процесами структуроутворення сталі, що сприяє підвищенню конструктивної міцності деталей металургійного обладнання, що отримують методом вільного кування.

*Основна частина.* Сталі марок 09Г та 50Г виплавляли у 250-кг індукційній печі з кислотою футеровкою. Склад сталі наведено у таблиці 1. Плавку випускали у два ковша. У перший ківш, нагрітий до 700°C, випускали 100 кг металу, розкислюючи його при цьому алюмінієм, який присаджували на дно ковша у кількості 0,15%. У другому ковші плавку масою 100 кг розкисляли алюмінієм у кількості 0,15% та фероцерієм у кількості 0,15%. Зі сталі кожного ковша відливали два зливки, масою 50 кг. Зливки піддавали куванню на ковальському молоті після охолодження у формі та нагріву до 1200°C. Отримані пластини перерізом 25×140 мм розрізувались за допомогою абразивного круга на заготовки, з яких виготовлялись зразки, які досліджувались після відповідної термічної обробки. Досліджувані сталі проходили наступні режими термічної обробки: нормалізація (сталь 09Г), гартування у маслі з високим (500°C) відпуском (сталь 50Г).

Критерії циклічної тріщиностійкості визначали згідно [4] на компактних прямокутних зразках з боковою тріщиною для досліджень на позацентровий розтяг К–Б–РВ (К – позначення форми зразка – квадратний; Б – позначення розташування тріщини – однібочна наскрізна; РВ – позначення виду деформації при навантажуванні – розтяг позацентровий) типу 3 (базовий розмір  $W=48$  мм, товщина 7...8 мм) при частоті циклічного навантажування 10...15 Гц та коефіцієнту асиметрії  $R=0,05$ .

Таблиця 1 – Хімічний склад сталей дослідних плавок

Марка сталі	Масова доля, %						
	C	Mn	Si	S	P	Al	PЗМ
09Г	0,08	0,87	0,16	0,024	0,032	0,057	0,044
50Г	0,48	0,89	0,17	0,022	0,032	0,062	0,059

Будували залежність швидкості росту втомної тріщини від розмаху коефіцієнту інтенсивності напруг  $\Delta K$ .

Характеристиками циклічної тріщиностійкості матеріалів були обрані величини: розмах коефіцієнту інтенсивності напруг  $\Delta K_{th} = \Delta K_{10^{-9}}$  – у низько-,  $\Delta K^* = \Delta K_{10^{-7}}$  – у середньо-,  $\Delta K_{fc} = \Delta K_{5 \cdot 10^{-5}}$  – у високоамплітудних зонах діаграми при швидкості поширення тріщини, рівної  $10^{-9}$ ,  $10^{-7}$  і  $5 \cdot 10^{-5}$  м/цикл відповідно.

Наведені на рис. 1 результати досліджень вказують на те, що в дослідних сталях 09Г і 50Г при низькоамплітудних навантаженнях, незначно перевищуючих порогові значення КІН  $\Delta K_{th}$  (при  $\Delta K \leq \Delta K_{th}$  субкритичний зріст тріщин не відбувається), швидкість зросту тріщин практично однакова.

У високоамплітудній області діаграми спостерігається значна різниця у швидкості зросту втомних тріщин  $d_a/d_N$  в залежності від складу та технології розкислення сталей. Різниця у величині  $\Delta K \leq \Delta K_{th}$ , яка відповідає переходу від втомного зросту тріщини до спонтанного руйнування зразка, для варіантів 11 і 42 (табл. 2) досягає 25 МПа·м<sup>1/2</sup> або 38,5%.

Таблиця 2 – Марка сталі, тип зразка та позначення

Марка сталі, розкислення	Позначення	Тип зразка
09Г, Al	11Пр	поздовжній поперечний
	11П	
09Г, Al + FeCe	12Пр	поздовжній поперечний
	12П	
50Г	41Пр	поздовжній поперечний
	41П	
50Г, Al + FeCe	42Пр	поздовжній поперечний
	42П	

Комплексне розкислення сталі 09Г, яке забезпечує глобуляризацію неметалевих включень, привело до підвищення  $\Delta K_{fc}$  з 60 до 80 МПа·м<sup>1/2</sup> або на 33%. Для сталі 50Г зміна  $\Delta K_{fc}$  була менш значною та склала 18%. Таким чином, отримані результати дозволяють затвер-

*Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва*

джувати про суттєвий вплив неметалевих включень на опір сталі втомному руйнуванню.

На рис. 2 наведені фрактограми втомних зламів сталей 09Г и 50Г. Для поздовжніх зразків сталі 09Г характерні типові втомні борозенки (рис. 2, а). На поперечних зламах зразків низьковуглецевої сталі 09Г з алюмінієм спостерігаються сколювання металу, вторинні тріщини (див. рис. 2, б). Вторинні тріщини розташовуються перпендикулярно напрямку поширення зламу. Одна з вторинних тріщин пройшла скрізь сульфідне включення. Втомних борозенок дуже менше та розмір їх більш широкий, чім на поздовжніх зразках. Спостерігається мікророзтріскування матриці сталі з проявом в цих зонах неметалевих включень. При розкисленні алюмінієм та фероцерієм в сталі 09Г спостерігається втомні борозенки як в поздовжніх, так і в поперечних зразках (рис. 2, в, г). На поперечному зразку видно, що церієве включення розколослось у процесі руйнування (див. рис. 2, г).

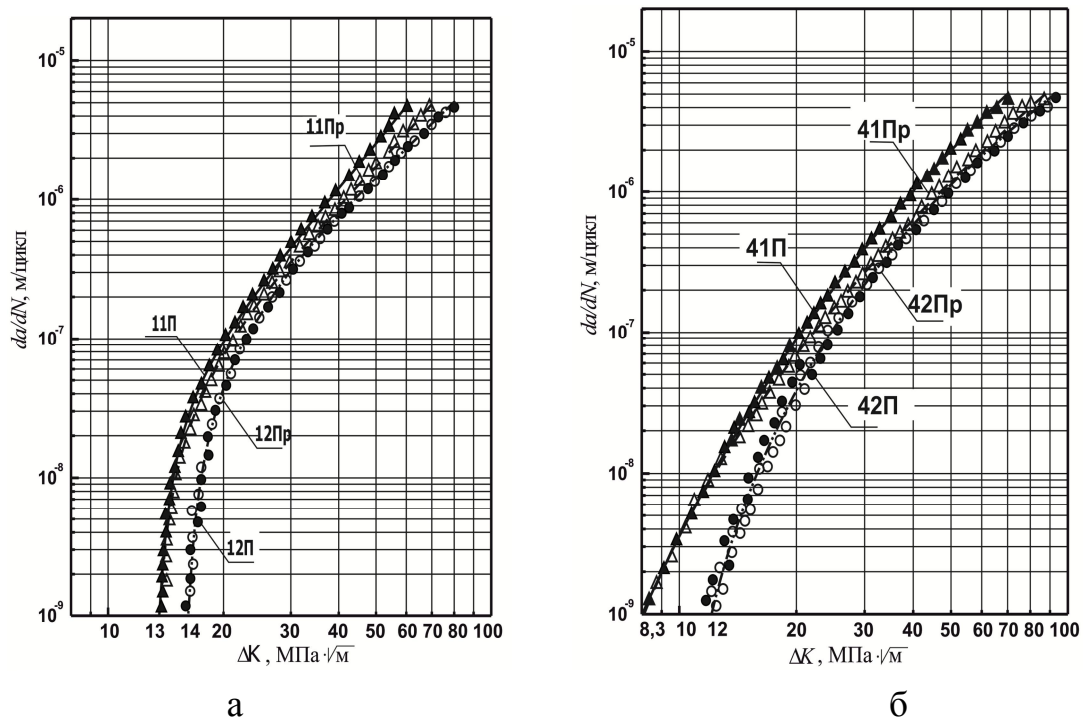


Рис. 1. Кінетичні діаграми втомного руйнування сталей 09Г (а) та 50Г (б)

У зламах сталей 50Г після розкислення алюмінієм у поздовжніх зразках спостерігається строчечно-ямковий злам з характерними втомними борозенками (рис. 2, д). У зламах поперечних зразків спостерігаються грубі вторинні тріщини та витягнуті ділянки скольного характеру, які орієнтовані по текстурі сталі, чого не виявлено на поздовжніх зразках, що пояснює негативний вплив текстури на циклічну в'язкість руйнування (див. рис. 2).

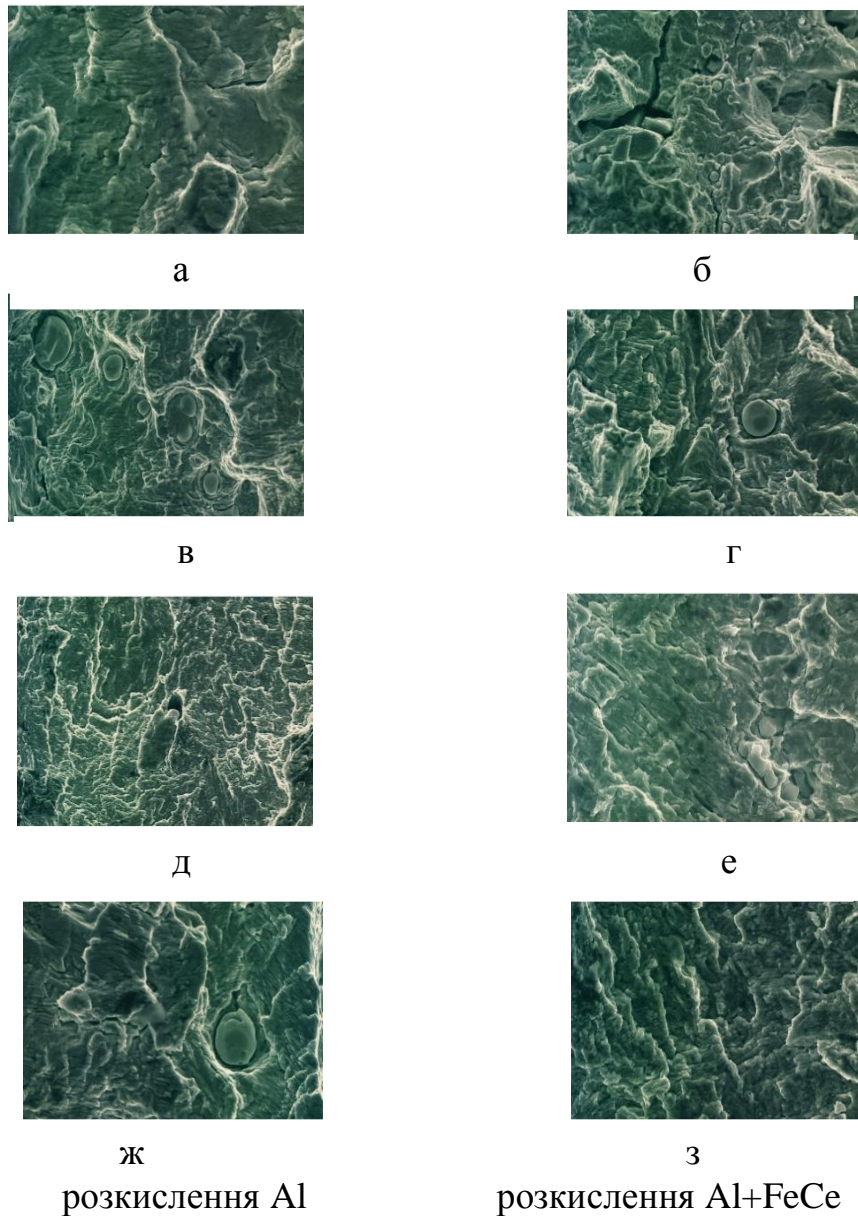


Рис. 2. Фрактограми втомних зламів сталей 09Г (а – г) та 50Г (д – з)

*Висновки.* При розкисленні сталі для ковальських зливок алюмінієм і фероцерієм підвищується опір руйнуванню при циклічних навантаженнях виготовлених зі зливок деталей металургійного обладнання.

## Література:

1. *Анофрієв В.Г.* Дефекти залізничних коліс: монографія / І.О.Вакуленко, В.Г.Анофрієв, М.М.Грищенко, О.М. Перков– Дніпропетровськ.: Видавництво Маковецький Ю.В., 2009. – 112с.
2. *Куслицкий А.Б.* Неметаллические включения и усталость стали / А.Б.Куслицкий – К.: Техника, 1976. –128 с.
3. *Murakami Y.* Metal fatigue: effects of small defects and nonmetallic inclusions / Y. Murakami. – Elsevier Science, 2002. – 380 p.
4. Механика разрушения и прочность материалов: справочное пособие: в 4 т. / Под общ. ред. В.В Панасюка. – К.: Наукова думка, 1988–1990.- Т.4: Усталостная и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О.Н.Романив. [и др.] – К., 1990. –680 с.

## КИНЕТИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ РАЗРУШЕНИЯ МАРГАНЦЕВИСТЫХ СТАЛЕЙ

Бунина Л.Н.

**Аннотация**– приведено исследование многоциклового выносливости марганцевистых кованных сталей. Показано, что комплексное раскисление стали алюминием и ферроцерием уменьшает анизотропию свойств.

## THE KINETIC DIAGRAMS OF MANGANESE STEELS FRACTURE

L. Bunina

### *Summary*

**The high cycle endurance of manganese steels for forging is investigated. It is shown that deoxidation of steel by aluminium and ferrocerium reduces the anisotropy of properties.**