

Характеристики руйнування при модифікуванні сталей дисперсно-структурованими модифікаторами

С. Є. Кондратюк, доктор технічних наук, професор
О. М. Стоянова, кандидат фізико-математичних наук
Ж. В. Пархомчук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Досліджено вплив дисперсно-структурованих швидкісною кристалізацією модифікаторів на структуру і характеристики руйнування сталей 20Л, 45Л і У7Л. Встановлено суттєве підвищення значень ударної в'язкості і роботи поширення тріщини, зумовлене формуванням дрібнокристалічної литої структури і зміною мікромеханізму руйнування.

Традиційні ливарні технології не забезпечують зростаючих вимог щодо поєднання високих показників міцності і в'язкості литих сталевих виробів. Відзначаючи незаперечні переваги технологій лиття в зв'язку з можливістю швидкого одержання виробів різних габаритів і форм, низькою їх собівартістю і суттєвим скороченням втрат металу при механічній обробці, широке їх використання у машинобудуванні обмежується в зв'язку з підвищеною крихкістю литих сталей порівняно з деформівними. Перспективним шляхом вирішення цієї проблеми може бути одержання сталевих виливків з дрібнокристалічною і однорідною литою структурою, зокрема засобами спадкового модифікування дисперсно-структурованими модифікаторами.

В зв'язку з цим досліджено вплив таких модифікаторів на рівень ударної в'язкості та її складових – роботи зародження тріщини (a_z) і роботи поширення тріщини (a_n), фрактографічні характеристики руйнування при динамічному навантаженні сталей 20Л, 45Л та У7Л. Для експериментів використовували модифікатори (СИИТМиш-3 і SiCa) у стані поставки, а також дисперсно-структуровані при швидкості охолодження $V_{ox} = 45$ °С/с і $V_{ox} = 650$ °С/с (рис. 1).

Визначення ударної в'язкості здійснювали згідно ГОСТ 9454-78 на стандартних зразках з надрізом Менаже, а роботи зародження і поширення тріщини на зразках з наведеною тріщиною [1].

Особливості будови мікрорельєфа зломів сталей досліджували з використанням растрового електронного мікроскопа РЕМ-106И.

При дослідженні впливу модифікаторів з різним ступенем нерівноважності і дисперсності їх підготовленої структури металографічно

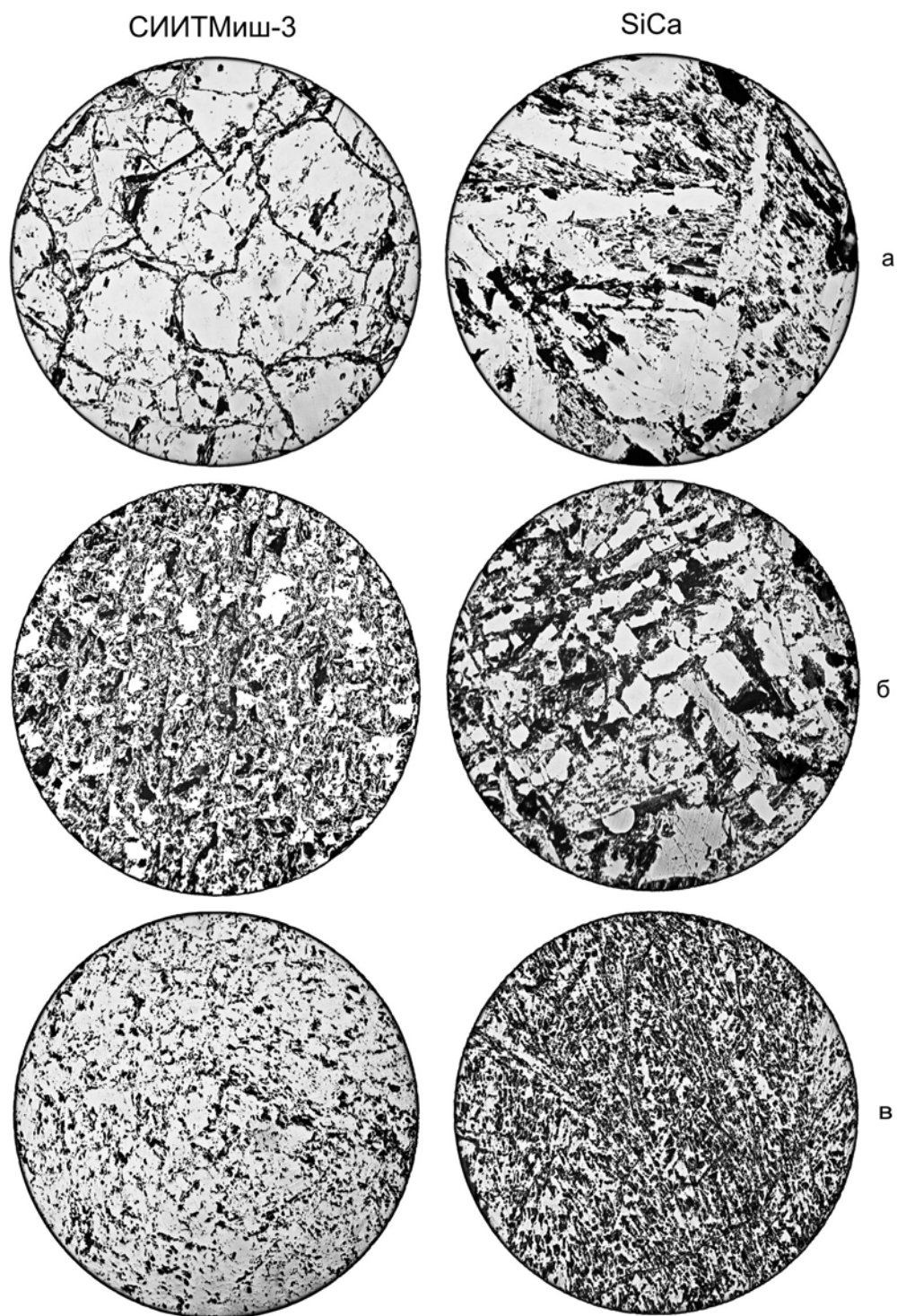


Рис. 1. Структура модифікаторів у стані поставки (а) та після переплаву з наступним охолодженням при $V_{ox} = 45 \text{ }^\circ\text{C/s}$ (б) і $V_{ox} = 650 \text{ }^\circ\text{C/s}$ (в). $\times 100$.

Структура, зношування, руйнування

встановлено закономірне подрібнення литої структури сталей відповідно зростанню дисперсності структури модифікуючих добавок.

Так, розмір зерна сталі 20Л при модифікуванні СИИТМиш-3 (рис. 2 а) у стані поставки зменшується порівняно з немодифікованою від номера -2 до номера 1, сталі 45Л від номера -1 до номера 2, сталі У7Л від номера 3 до номера 5. Використання ж дисперсно-структурованих швидкісною кристалізацією при швидкостях охолодження $45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$ і $650\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$ добавок модифікатора зумовлює суттєве подрібнення зерна в литій структурі сталей до номерів 3 і 4 (сталь 20Л), до 3 і 5 (сталь 45Л) і до номерів 7 і 8 (сталь У7Л) відповідно.

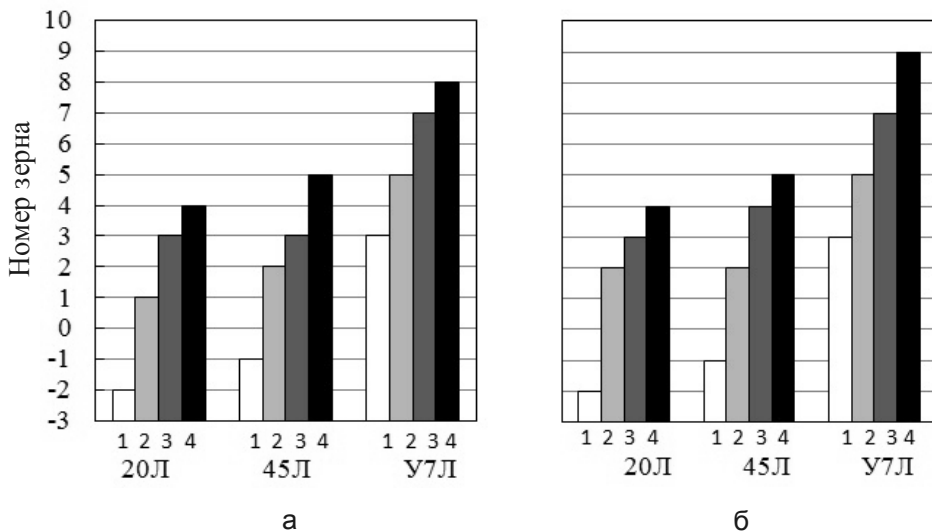


Рис. 2. Зміна розміру зерна сталей при модифікуванні їх СИИТМиш-3 (а) і силікокальцієм (б) з різною дисперсністю структури. 1 – без модифікуючої добавки; 2 – модифікатор у стані поставки; 3 – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{\text{ox}} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 4 – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{\text{ox}} = 650\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$.

Подібні зміни щодо подрібнення зерна досліджуваних сталей спостерігаються і при модифікуванні їх дисперсно-структурованими добавками силікокальцію (рис. 2 б).

Встановлено, що ударна в'язкість досліджуваних модифікованих сталей закономірно підвищується відповідно зростанню дисперсності структури модифікуючих добавок і подрібненню литої структури сталей у виливках зумовленого таким модифікуванням.

Так, при модифікуванні сталей модифікатором СИИТМиш-3 (рис. 3) у стані поставки ударна в'язкість їх підвищується від 27 до 34 Дж/см² (сталь 20Л), від 22 до 26 Дж/см² (сталь 45Л) і від 12 до 15 Дж/см² (сталь У7Л). В разі ж використання дисперсно-структурованих при $V_{\text{ox}} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$ і $V_{\text{ox}} = 650\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{c}$ добавок модифікатора показники ударної в'язкості сталей значно підвищуються – відповідно до 44 і 48 Дж/см² (сталь 20Л), до 28 і 32 Дж/см² (сталь 45Л), до 18 і 23 Дж/см² (сталь У7Л).

Структура, зношування, руйнування

При модифікуванні сталей силікокальцієм з різною дисперсністю структури (рис. 4) також спостерігається суттєве зростання ударної в'язкості при підвищенні дисперсності структури використовуваних добавок модифікатора. Максимальне підвищення рівня ударної в'язкості має місце при модифікуванні сталей дисперсно-структурованим при $V_{ox} = 650$ °C/c силікокальцієм і досягає 54 Дж/см² для сталі 20Л, 38 Дж/см² для сталі 45Л, 26 Дж/см² для сталі У7Л, тобто в середньому перевищує значення ударної в'язкості на 30 – 35 % при модифікуванні сталей модифікатором у стані поставки.

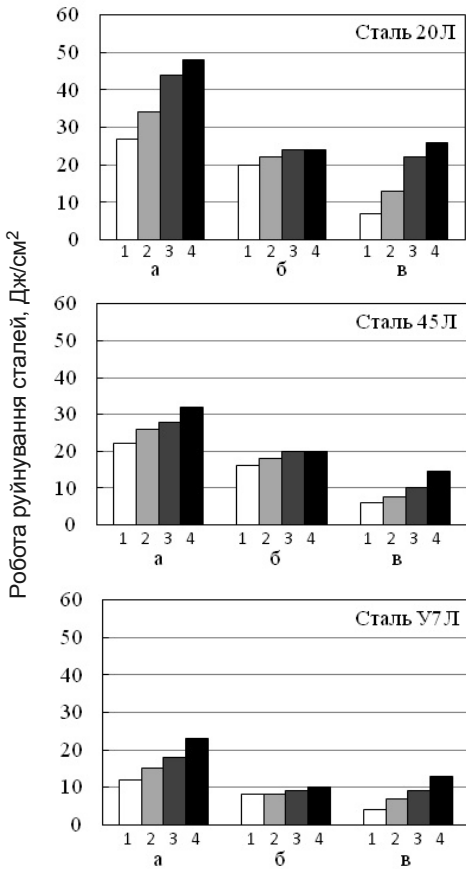


Рис. 3. Енергетичні характеристики руйнування сталей залежно від структурного стану модифікатора СИИТМиш-3. а – ударна в'язкість; б – робота зародження тріщини; в – робота поширення тріщини. 1 – немодифікована сталь, 2 – модифікатор у стані поставки, 3 – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{ox} = 45$ °C/c, 4 – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{ox} = 650$ °C/c.

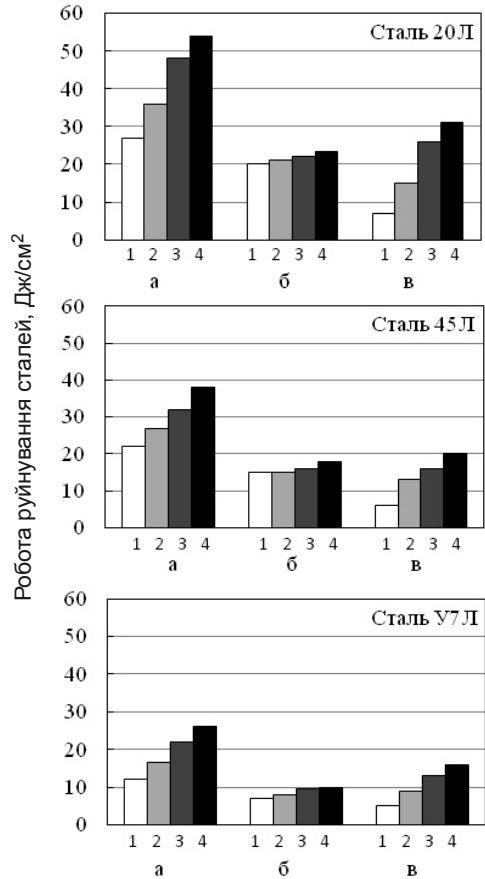


Рис. 4. Енергетичні характеристики руйнування сталей залежно від структурного стану модифікатора силікокальцію. а – ударна в'язкість; б – робота зародження тріщини; в – робота поширення тріщини. 1 – немодифікована сталь, 2 – модифікатор у стані поставки, 3 – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{ox} = 45$ °C/c, 4 – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{ox} = 650$ °C/c.

Визначення енергетичних показників ударної в'язкості a_3 і a_n показало, що підвищення значень ударної в'язкості при модифікуванні досліджуваних сталей зумовлене переважно суттєвим зростанням роботи поширення тріщини

Структура, зношування, руйнування

від 7 Дж/см² (немодифікована сталь 20Л) до 13, 22 і 26 Дж/см² відповідно дисперсності структури модифікатора СИИТМиш-3 і до 15, 26 і 31 Дж/см² силікокальцію. Робота ж зародження тріщини при цьому для всіх варіантів модифікування змінюється незначно і не є визначальною щодо підвищення рівня ударної в'язкості досліджуваних сталей.

Суттєве ж підвищення значень ударної в'язкості сталей, модифікованих дисперсно-структурованими модифікаторами, пов'язано з підвищенням роботи поширення тріщини, зумовленою формуванням дрібнокристалічної структури і значним зменшенням розмірів зерна

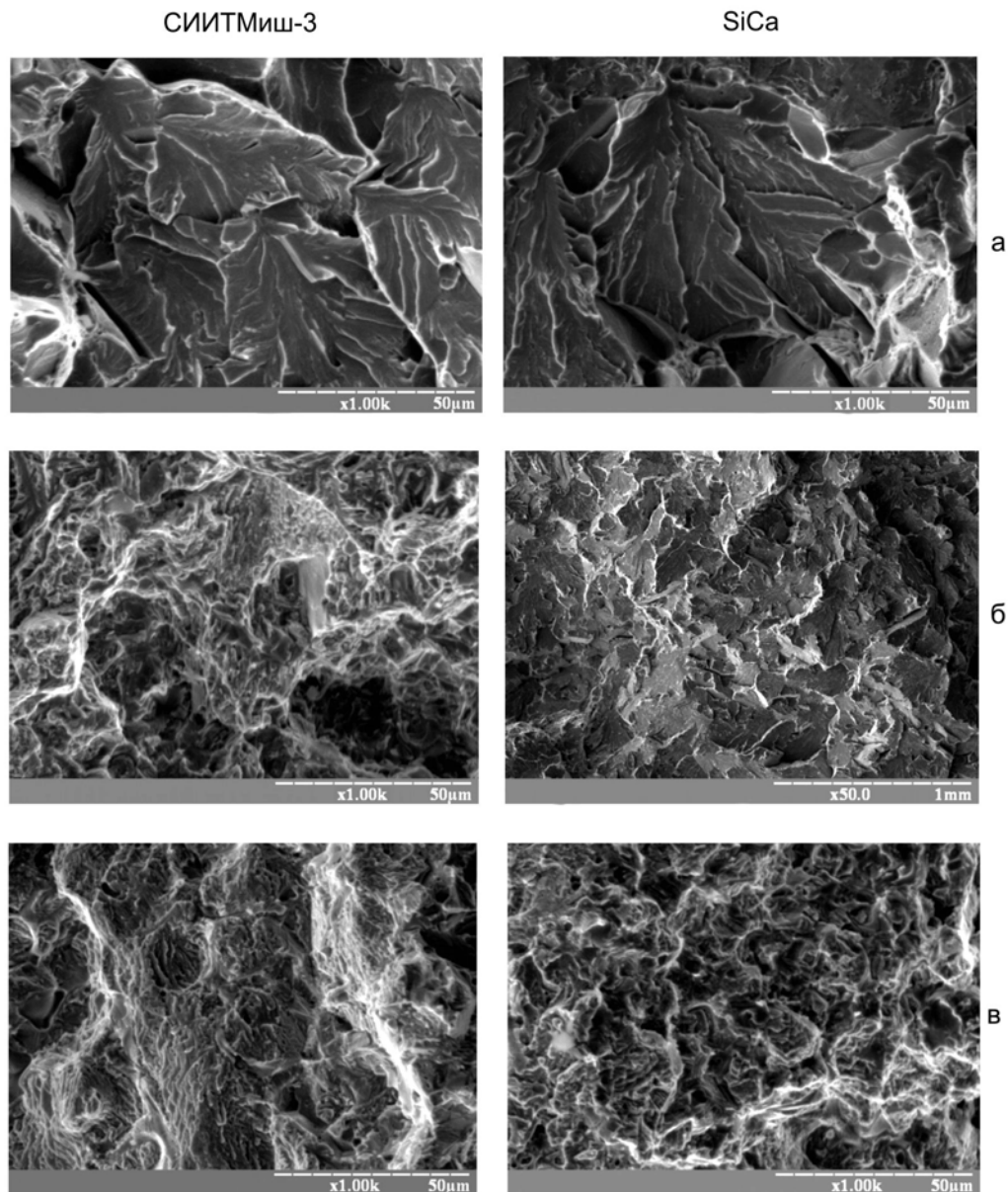


Рис. 5. Мікрорельєф зломів сталі 45Л залежно від структурного стану модифікаторів. а – немодифікована сталь, б – модифікатор у стані поставки, в – модифікатор швидкісної кристалізації при $V_{ок} = 650$ °C/с.

модифікованих сталей. Це узгоджується з уявленнями Петча-Хола [2 – 4] і підтверджується дослідженнями щодо зміни мікрорельєфу зломів і мікромеханізмів руйнування при модифікуванні сталей. Фрактографічними дослідженнями встановлено, що основними складовими мікрорельєфа зламів є поверхні крихкого транскристалітного відколу, квазівідколу і в'язкого ямкового мікрозлому (рис. 5). При підвищенні рівня ударної в'язкості і роботи поширення тріщини внаслідок модифікування спостерігається закономірна зміна співвідношення основних складових мікрозлому сталей в бік зменшення рельєфу крихкого руйнування за механізмом відколу і зростанням кількості поверхонь квазівідколу і в'язкого руйнування з формуванням ямкового мікрорельєфу. Це свідчить про реалізацію більш енергоємних мікромеханізмів руйнування сталей, модифікованих дисперсно-структурованими модифікаторами.

Експериментально встановлено, що застосування модифікаторів з підготовленою дисперсною структурою інтенсифікує процес їх взаємодії з розплавом, сприяє формуванню більш однорідної і дрібнокристалічної литої структури сталей, відкриває перспективу значного підвищення опору литих сталевих виробів крихкому руйнуванню.

Література

1. Дроздовський Б.А., Фридман Я.Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. – М.: Металлургиздат, 1960. – 180 с.
2. E.O. Hall // Proc. Phys. Soc. Seriesю. – 1951. – 64 B. – P. 747.
3. N.J. Petch // Proc. Swampscott Conf. MJT. Press. – 1959. – P. 54.
4. N.J. Petch // J. Iron Steel Inst. – 1953. – V. 174. – № 1. – P. 25 – 28.

Одержано 01.12.14

С. Е. Кондратюк, Е. Н. Стоянова, Ж. В. Пархомчук

Характеристики разрушения при модифицировании сталей дисперсно-структурированными модификаторами

Резюме

Исследовано влияние дисперсно-структурированных скоростной кристаллизацией модификаторов на структуру и характеристики разрушения сталей 20Л, 45Л и У7Л. Установлено существенное повышение значений ударной вязкости и работы распространения трещины вследствие формирования мелкокристаллической литой структуры и изменения микромеханизма разрушения.

S.Ye. Kondratyuk, E.N. Stoianova, Z.V. Parhomchuk

Features of destruction in modifying steels by dispersion-structured modifiers

Summary

The influence of dispersion-structured high-speed crystallized modifiers on the structure and characteristics of fracture of steels 20Л, 45Л and У7Л. A substantial increase in the values of toughness and work of fracture propagation due to the formation of fine-grained cast structure and changes in the fracture mechanism.