

УДК 539.43

**ВТОМА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК**

Буніна Л. М., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-13-54, e-mail florex.melitopol@gmail.com

**Анотація** – марганцевисті сталі знаходять широке використання у машинобудуванні. В роботі досліджували вплив хімічного складу і форми неметалевих включень на конструкційну міцність марганцевих сталей. Наведено залежності між природою неметалевих включень і властивостями сталей.

**Ключові слова** – марганцевиста сталь, неметалеві включення, втомне руйнування, розкислення, модифікування.

*Постановка проблеми.* На практиці марганцевисті сталі широко застосовуються у машинобудуванні для деталей сільськогосподарських машин (колінчасті вали, шатуни, вилки переведення передач та ін.), так як марганець підвищує твердість та міцність сталі, а також збільшує її прогартовуваність. Ці деталі в процесі роботи піддаються навантаженням, які змінюються за величиною і напрямком. При таких повторно-змінних напругах метал поступово із в'язкого стану переходить у крихкий (стомлюється). Крихкий стан пояснюється появою мікротріщин, які поступово розширюються й ослаблюють метал. Вплив морфології неметалевих включень та структури металевої основи на втомне руйнування сталей вивчено недостатньо.

*Аналіз останніх досліджень.* Втома – це процес поступового накопичення ушкоджень у металі під дією змінних напружень, які призводять до утворення і розвитку втомних тріщин. Внаслідок різного орієнтування зерен і блоків, макро- і мікродефектів напруження в металі розподіляються нерівномірно. При розрахунковому навантаженні нижче тимчасового опору в окремих перенапружених локальних об'ємах відбувається пластичне деформування і, як наслідок, його граничного розвитку, виникають мікротріщини. Мікротріщини поступово зливаються, утворюючи макротріщину, яка часом поширюється на весь переріз [1].

Втомні злами мають характерні ознаки, що відрізняють їх від зламів іншого роду. У зламі виділяють кілька характерних зон. Фокус зламу – локальна зона, у якій виникає зародкова макроскопічна трі-

щина втоми і звідки починається її розвиток. Зона руйнування – невелика зона, яка прилягає до фокуса зламу, і в якій сформувалася початкова макроскопічна тріщина втоми. Вона характеризується невеликим блиском і найбільш гладкою поверхнею. Зона властиво втомного розвитку тріщини характеризується тим, що в ній від зони руйнування, як із центра, розходяться лінії втоми - сліди фронту просування тріщини. Зона долому утворюється на останній стадії втомного руйнування і має яскраво виявлені ознаки макрокрихкого руйнування [2].

Відомо, що неметалеві включення мають низьку міцність. Також навколо включень існує напружений стан, тому первинні тріщини виникають навколо найбільш великих неметалевих включень, які мають несприятливу форму, таких як  $MnS$ ,  $Al_2O_3$  та інш.

З методів підвищення показників конструктивної міцності найбільш економічним є метод керування природою неметалевих включень – модифікування. Розкислення алюмінієм неспроможне забезпечити сприятливу морфологію неметалевих включень, тому все більше застосовують спільне розкислення алюмінієм та рідкоземельними металами. З останніх найбільше застосування отримав фероцерій. Зі зростанням його вмісту відбувається поступова глобуляризація включень і зниження кількості включень глинозему та шпінелей [3, 4, 5].

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є дослідження впливу розкислення алюмінієм та одночасно алюмінієм та фероцерієм на структуру сталей з низьким (0,09 %) та середнім (0,5 %) вмістом вуглецю з урахуванням їхньої технологічної текстури.

*Основна частина.* Досліджували сталі 09Г, 50Г та 60Г після розкислення алюмінієм та спільно алюмінієм та фероцерієм, коли вміст алюмінію становив 0,03...0,05 %, а церію – 0,055...0,06 %. Зразки матеріалів сталей 09Г та 50Г вирізали вздовж (ДП) і поперек (ПД) текстури сталей, одержаної після кування. Досліджувані сталі проходили наступні режими термічної обробки: нормалізація (сталь 09Г), гартування у маслі з високим ( $500^{\circ}C$ ) відпуском (сталь 50Г). На плавці сталі 60Г вивчали вплив сірки (присадка у піч) на механічні властивості сталі.

Незалежно від кінцевого розкислення та гарячої пластичної деформації структура низьковуглецевої сталі після термічної обробки уявляла собою ферит з незначною кількістю карбідної фази, середньовуглецевих сталей – сорбіт з голчастими включеннями фериту (рис.1). Неметалеві включення в литій сталі при розкисненні алюмінієм були подані глиноземом та залізо-марганцевими сульфідами III типу. Останні при куванні деформувались, отримували витягнуту форму, при цьому параметр їхньої форми (відношення довжини до ширини) становив 7...10; включення з РЗМ практично не змінювали своєї форми (рис. 2).

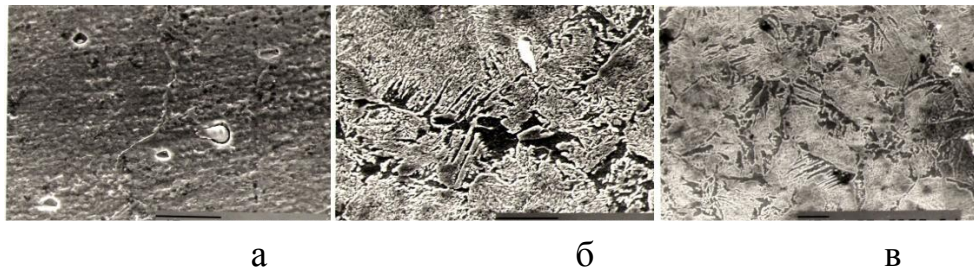


Рис.1. Мікроструктури сталей 09Г (а), 40Г (б) и 50Г (в) після термообробки.

Для сталі 09Г мікрофрактографічні особливості зламів ДП-зразків подані переважно типовими втомними борозенками, протяжність яких скорочується на зламах поперек кування (ПД-зразки). Спостерігається також мікророзтріскування матриці сталі і прояв у цих зонах зламу неметалевих включень. У ПД-зразках спостерігаються вторинні тріщини перпендикулярно до напрямку поширення доміантної тріщини. Але в усіх випадках неметалеві включення в зламах залишаються незруйнованими, тобто ріст тріщини відбувається шляхом розшарування на межі металева основа-включення.

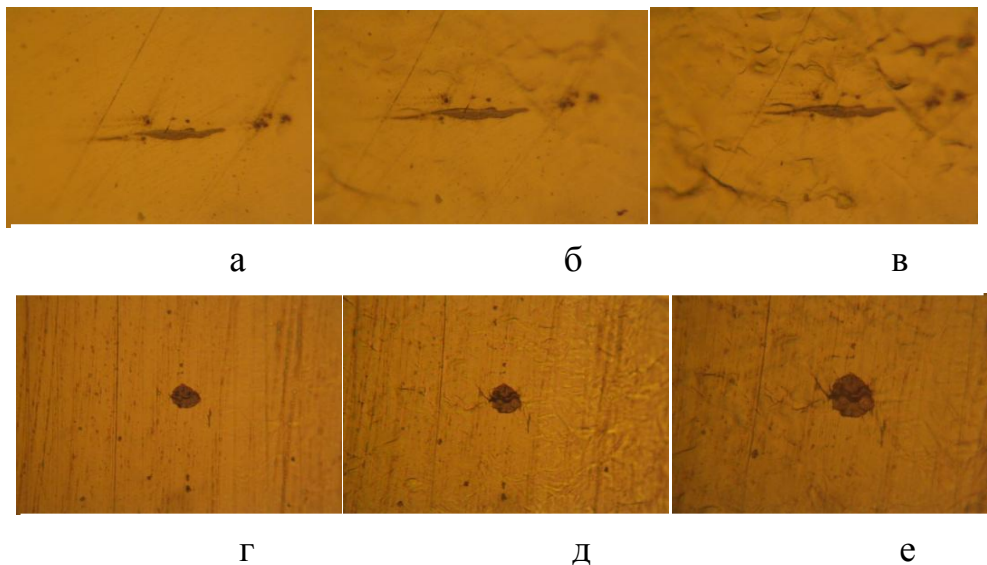


Рис. 2. Зародження мікротріщини біля залізо-марганцевих сульфідів (а,б,в) та оксисульфідів (г,д,е).

У зламах сталі 50Г домінують фасетки розшарування площинами ковзання (циклічний квазіскол), хоча проявляються і втомні борозенки незалежно від орієнтації вирізання зразка. У зламі ПД-зразків спостерігаються ділянки з фрагментованими втомними борозенками і витягнуті ділянки відкольного характеру, які орієнтовані за текстурою сталі, чого не виявлено на ДП-зразках, що очевидно, обумовлює нега-

тивний прояв текстури на циклічну в'язкість руйнування сталі 50Г після розкислення алюмінієм.

Проведений мікроаналіз зламу біля включень показує, що її розтріскування можна пов'язати з локальним підвищенням вмісту сірки. Існуючими стандартами вміст сірки в рядових конструкційних сталях дозволяється до 0,03...0,05 %. Тому в спокійних розкислених алюмінієм сталях, які містять 0,003...0,005% кисню, співвідношення між оксидами та сульфідами дорівнює приблизно 1:10, тобто основним типом включень є залізо-марганцеві сульфіди. Як відомо, ці включення деформуються при пластичній деформації та викликають зниження і анізотропію властивостей сталі. Тому перспективним методом підвищення властивостей сталі слід розглядати комбінацію десульфурації та комплексного розкислення з ціллю глобуляризації оксисульфідних включень та підвищення механічних та службових властивостей сталевих виробів.

Вивчали вплив зростаючого вмісту сірки та розкислення алюмінієм та фероцерієм на механічні властивості сталі 60Г (0,62% С, 0,94% Mn, 0,37% Si, 0,027% P). Сталь виплавляли в 250-кг індукційній печі на чистій по сірці шихті (армко-залізо та сталь 08кп). Сірку присаджували в піч, розкислювачі – у розливочний ківш. Присадка алюмінію становила 0,1% від маси рідкого металу, присадка фероцерію розраховувалась, виходячи з очікуваного (по розрахунку шихти) вміст сірки у сталі по формулі:  $\%FeCe=4\% S$  [4]. Зразки для механічних досліджень виготовляли з литого та кованого металу (зливки масою 25кг, ступінь укову 8,5...9,5). Гартування у масло з 810°C проводили після нагріву заготовок у печах опору, відпуск – при 500°C з охолодженням на повітрі.

Наведені на рис.3 результати механічних досліджень підтверджують ефективність комплексного підходу – десульфурації та розкислення алюмінієм спільно з фероцерієм на механічні властивості литої та деформованої сталі [6 – 9]. З наведених на рисунку результатів випливає, що вміст сірки та технологія кінцевого розкислення не надали помітного впливу на межу плину, тимчасовий опір та твердість сталі. В той же час досліджувані технологічні фактори змінювали показники пластичності та ударної в'язкості в широких межах, при цьому зниження вмісту сірки, в цілому, виявлялось більш ефективним, чим додаткове розкислення сталі фероцерієм.

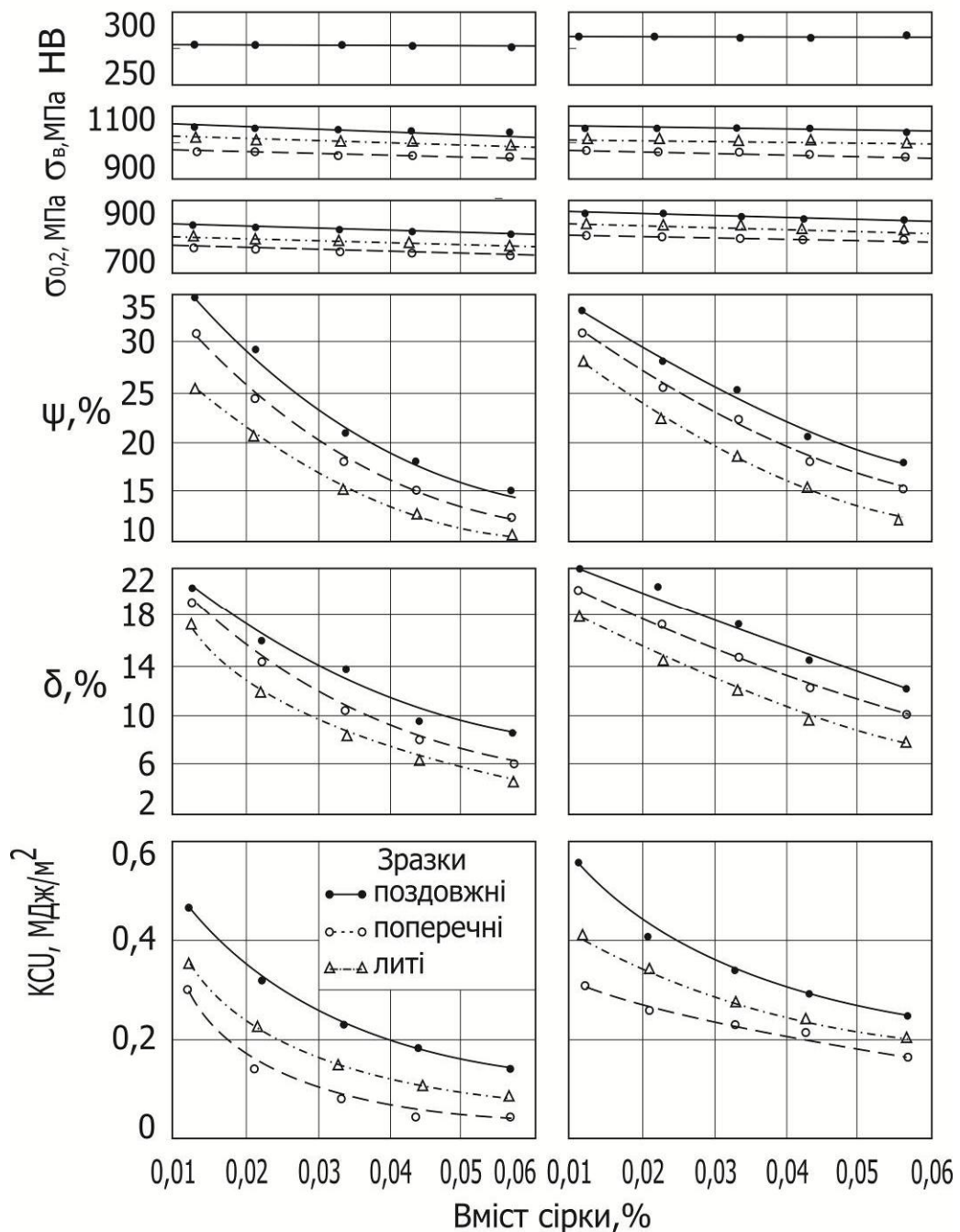


Рис. 3. Вплив вмісту сірки на механічні властивості сталі 60Г.

*Висновки.* За наявності неметалевих глобулярних включень сталі з перлітною структурою металевої основи мають перевагу перед феритними для елементів конструкцій з високим рівнем міцності і опором втомному руйнуванню.

## Література

1. В.І. Большаков Матеріалознавство / В.І.Большаков, О.Ю.Береза, О.Ю.Міронова, В.І.Харченко.—Базіліан Прес.: Канада, 1998.— 216 с.

2. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. – Запоріжжя: Валпіс-Поліграф, 2010. – 536 с.
3. Шульте Ю. А. Неметаллические включения в электростали / Ю. А. Шульте. – М.: Металлургия, 1964. – 207 с.
4. Поволоцкий Д. Я. Раскисление стали / Д. Я. Поволоцкий. – М.: Металлургия, 1972. – 208 с.
5. Малиночка Я.Н. Сульфиды в сталях и чугунах / Я. Н. Малиночка, Г. З. Ковальчук. – М.: Металлургия, 1988. – 244 с.
6. Вплив неметалевих включень на опір втомного руйнуванню марганцевистих сталей / І. Андрійко, О. Остап, І. Волчок [та ін.] //Машинознавство. – 2007. – №4. – С. 13 – 16.
7. Шульте Ю.А. Хладостойкие стали / Ю. А. Шульте – М.: Металлургия, 1970. – 224 с.
8. Лунев В.В. Сера и фосфор в стали / В.В. Лунев, А.В. Аверин – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
9. Голубцов В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. – Челябинск – Запорожье: ЗНТУ, 2009.–356 с.

## УСТАЛОСТЬ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК

Л.Н. Бунина

**Аннотация** - марганцевые стали широко применяются в машиностроении. В работе исследовали влияние химического состава и формы неметаллических включений на конструкционную прочность марганцевых сталей. Приводятся зависимости между природой неметаллических включений и свойствами стали.

## THE FATIGUE OF LOW-CARBON STEELS FOR FORGINGS

L. Bunina

### Summary

The manganese-containing steels are widely used in machinery construction. The influence chemical composition and shape of non-metallic inclusions on constructive strength of manganese-containing steels was studied. The dependences between the nature of non-metallic inclusions and properties of steels are given.