

## КІНЦЕВЕ РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК

Буніна Л. М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-13-54

**Анотація** – розглянуто зв'язок форми неметалевих включень та механічних властивостей. Показано, що отримання глобулярних включень оксидів та сульфідів церію, які не деформуються при куванні, знижає анізотропію механічних властивостей.

*Постановка проблеми.* Ковані сталі на практиці широко застосовуються для деталей сільськогосподарських машин. Широке застосування знайшла малоперлітна сталь 09Г2 з різними мікролегуючими комплексами (09Г2Ф, 09Г2Б, 09Г2Т, 09Г2Ю, 09Г2БФ, 09Г2ТБ) як конструкційний матеріал для виготовлення зварних конструкцій у судо- і машинобудуванні, транспортному і хімічному машинобудуванні, у будівництві (ГОСТ 19281–89). Середньовуглецеві марганцевисті сталі 30Г и 35Г мають сприятливе сполучення міцності, пластичності і в'язкості, особливо після поліпшення. Вони використовуються для виготовлення валів, тяг, траверс, пальців, ланок гусениць. Сталі 40Г, 45Г, 50Г, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2 знаходять застосування для виготовлення півосей легкових і вантажних автомобілів, колінчатих валів, гальмових важелів і дисків (ГОСТ 1050–88). Одним з факторів, що стримують впровадження марганцевистих сталей, є специфіка утворення в них неметалевих включень при кінцевому розкисленні рідкого металу. Загальноприйнятим розкислювачем литої сталі є алюміній, у залежності від змісту якого утворюються три відомих типи неметалевих включень. Для одержання найбільш сприятливого третього типу неметалевих включень зміст залишкового алюмінію в середньовуглецевій сталі повинен складати 0,03...0,06%. На утворення трьох типів неметалевих включень, крім алюмінію, значний вплив роблять вуглець і кремній, що містяться в сталі. Чим вище зміст цих елементів, тим менша концентрація алюмінію необхідна для одержання III типу неметалевих включень. В середньовуглецевих сталях типу хромансиль «критичний» зміст алюмінію, що відповідає II типу неметалічних включень, може складати 0,05...0,15%, тобто в 5...10 разів перевищувати «критичний» зміст алюмінію для середньовуглецевої сталі. При такому змісту алюмінію відбувається інтенсивне виділення пластинчастих нітридів алюмінію на границях зерен, злам стали перетворюється у кам'янистий, її механічні властивості різко знижуються. Таким чином, для одержання щільних виливків зі сприятливою формою неметалевих включень потрібно удосконалювання методів кінцевого розкислення сталей, легованих марганцем і хромом.

*Аналіз останніх досліджень.* Неметалеві включення суттєво впливають на механічні властивості сталі. Вплив включень на властивості сталі має зв'язок з

формою включень. Сталь, що містить пластинчасті включення, руйнується значно раніше сталі з глобулярними включеннями. Збільшення змісту сульфідних включень монотонно знижує пластичність, підсилює анізотропію механічних властивостей у деформованій сталі. Сталь, що містить пластинчасті включення, руйнується значно раніше сталі з глобулярними включеннями [1]. Неметалеві включення впливають на процес утворення мікротріщин. Біля неметалевих включень спостерігаються поля напружень, радіус яких складає 4...5 радіусів включення. Отже, при зміні включень у сталі 0,2%, обсяг напруженого металу складає 3...5%. Щільність дислокацій, розташованих навколо включень у 4,3 рази вище, ніж у металевій матриці. При деформації зразків розтяганням на 1,5% цей показник зростає до 7,0. У цілому, аналіз літературних даних показує, що неметалеві включення в процесі пластичної деформації відіграють роль: перешкод для дислокацій, що рухаються; місць з підвищеною концентрацією дислокаційних джерел; місць, в околиці яких зароджується в'язка і крихка тріщина [2]. Під дією статичних, ударних і циклічних навантажень при низьких, кімнатних і високих температурах мають місце три механізми зародження мікротріщин за участю неметалевих включень: 1) руйнування включення і перехід тріщини з нього в метал; 2) руйнування по міжфазній границі з наступним ростом порожнини навколо включення; 3) утворення тріщини перед включенням унаслідок згущення смуг ковзання. Запропоновані методи кількісної оцінки ролі неметалічних включень у процесах зародження і поширення мікротріщин. Як основні показники, обумовлених методами кількісної металографії, приймалися: коефіцієнт участі включень у руйнуванні  $K_{\text{нв}}$  (частка включень, що прийняли участь у зародженні мікротріщин) і коефіцієнт зв'язку мікротріщин із включеннями  $K_N$  (частка мікротріщин, що зародилися на включеннях). Результати досліджень показали, що незалежно від схеми напруження (статичне розтягання, циклічні навантаження) і температури досліджень, від 70 до 100% перших мікротріщин зароджувались на неметалевих включеннях ( $K_N$  дорівнював від 0,7...1,0), а при перших навантаженнях практично усі включення брали участь у тріщиноутворенні ( $K_{\text{нв}}=1$ ) [3]. Одним з найбільш твердих сучасних вимог до якісних конструкційних матеріалів є вимога мінімальної анізотропії механічних властивостей. Так малоциклова довговічність подовжніх зразків мартенівської сталі 16ГНМА склала 11 тисяч циклів, поперечних зразків – 6 тисяч циклів, вертикальних зразків – 2,2 тисячі циклів. Видалення неметалевих включень за допомогою рафінуючих металургійних методів істотно зменшує анізотропію і, крім збільшення границі втоми і довговічності, значно зближає аналогічні показники металу, вирізаного вздовж чи поперек вертикальної осі прокатки. В зв'язку з цим була поставлена задача оптимізувати процес кінцевого розкислення сталі для поковок та отримати при цьому недеформовані неметалеві включення, які забезпечують зниження до мінімуму анізотропії механічних властивостей [4].

*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, 0,50%) вмістом вуглецю

з урахуванням їхньої технологічної текстури на механічні властивості кованої сталі, так як кінцеве розкислення (модифікування) є найбільш технологічним і економічним методом керування процесами структуроутворення сталі, що сприяє підвищенню конструктивної міцності деталей сільськогосподарських машин, що отримують методом вільного кування.

*Основна частина.* Об'єктами досліджень були конструкційні низьколеговані сталі 09Г, 40Г, 50Г для поковок. Промислові плавки проводили в індукційних печах ємністю 2,5 т з кислотою футеровкою, експериментальні плавки – в печах ємністю 250 кг з кислотою футеровкою. Експериментальні плавки порційно випускалися у два розливочних ковші, при цьому розкислення металу в першому ковші за стандартною технологією проводилось алюмінієм, в другому – алюмінієм і фероцерієм. Мета роботи розв'язувалась шляхом додаткового модифікування фероцерієм сталі, розкисленої алюмінієм. В якості модифікатора фероцерій був обраний із наступних міркувань. По-перше, церій, лантан та інші рідкоземельні метали, які входять у склад фероцерія, володіють високою хімічною спорідненістю до азоту, достатньою для утворення нітридів. По-друге, при модифікуванні рідкоземельними металами утворюються глобулярні оксисульфідні включення, які не деформуються при гарячій обробці тиском, що позитивно відбивається на технологічній пластичності, тріщиностійкості і механічних властивостях сталі. Зливки з металу кожної фракції відливалися у сухі піщані форми. Методом кування при температурі 1200...950°C з щільної частини вилівка виготовлялися пластини перерізом (140±10)×(25±1)мм. Ступінь деформації становив 8,5...9,5. Досліджувані сталі проходили наступні режими термічної обробки: нормалізація (сталь 09Г), гартування у маслі з низьким (200°C) і високим (500°C) відпуском (сталі 40Г, 50Г). Механічні властивості при розтяганні вивчали за ГОСТ 1497 – 84 на зразках діаметром 5 мм і довжиною 25 мм, які вирізувалися у поздовжньому і поперечному напрямках.

Хімічний склад дослідних сталей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічний склад сталей 09Г, 40Г, 50Г

Марка сталі	C	Mn	Si	S	P	Al	PЗМ
09Г	0,08	0,87	0,16	0,024	0,032	0,057	0,044
40Г	0,41	0,94	0,81	0,023	0,032	0,060	0,045
50Г	0,48	0,89	0,17	0,022	0,032	0,062	0,059

Вивчення ролі неметалевих включень у процесі руйнування кованих сталей показав, що включення сульфідного типу приводили до утворення магістральних тріщин. Церієві включення володіли малим ступенем деформації при куванні, який не перевищував 2%. Біля церієвих включень утворювалися порожнини внаслідок відділення включень від металу. Кінцеве розкислення, яке визначало кількість, склад, форму і деформуємість при куванні неметалевих включень, суттєво впливало на показники міцності і пластичності, а також на коефіцієнт анізотропії властивостей А (відношення показника властивостей

поперечного зразка до аналогічного показника поздовжнього зразка). Механічні властивості поперечних зразків були на 15...20% нижче порівняно з властивостями поздовжніх зразків при наявності деформованих включень. При розкисленні алюмінієм і фероцерієм різниця у властивостях не перевищувала 10%, що можна пояснити позитивним впливом недеформованих при куванні неметалевих включень. Результати механічних досліджень сталей наведені на рис.1. Як видно з рисунка, у сталях, розкислених алюмінієм, спостерігається значна анізотропія властивостей, особливо по показникам пластичності (відносне подовження, ударна в'язкість). Ці данні підтверджуються результатами металографічного аналізу основних типів неметалевих включень. Включення у сталях, розкислених алюмінієм, представлені, в основному, витягнутими залізо-марганцевими сульфідами (рис.2а), а також крихко зруйнованими складними оксидами типу залізної шпінелі  $FeO \cdot Al_2O_3$  (рис.2б).

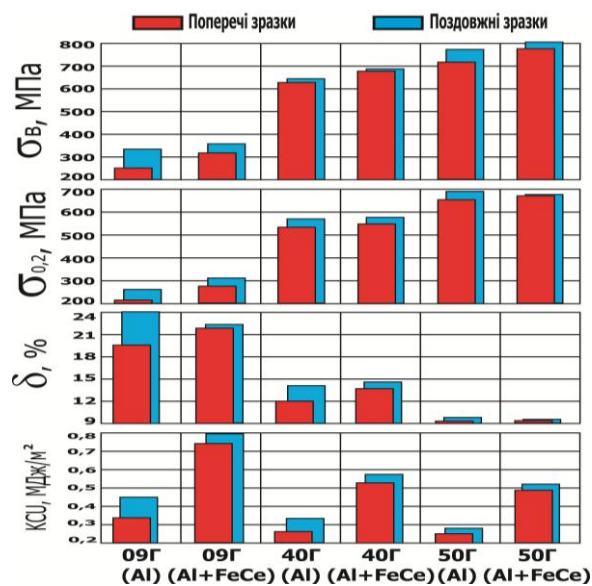


Рис.1. Механічні властивості сталей 09Г, 40Г, 50Г.

Включення у сталях, розкислених фероцерієм, представляють собою або згруповані у стрічки дрібні округлі включення моносольфідів церію (рис.2в), або окремі великі глобулі оксидів церію (рис.2г).

*Висновки.* Таким чином, отримані дані механічних випробувань та металографічних досліджень підтверджують зв'язок між формою неметалевих включень та механічними властивостями. Більш благоприємною є глобулярна форма недеформованих при куванні оксисульфідних церієвих включень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Голубцов В.А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В.А. Голубцов, В.В. Лунев. – Челябинск – Запорожье: ЗНТУ, 2009. – 356 с.

2. Brocksbank D. Stress field around inclusions and their relation to mechanical properties / D. Brocksbank, K.W. Andrews // J. Iron Steel Inst. – 1972. – Volume 210, №4. – P. 246 – 250.
3. Волчок И.П. Сопротивление разрушению стали и чугуна / Волчок И.П. – М.: Metallurgy, 1993. – 192 с.
4. Куслицкий А.Б. Неметаллические включения и усталость стали / Куслицкий А.Б. – К.: Техника, 1976. – 128 с.

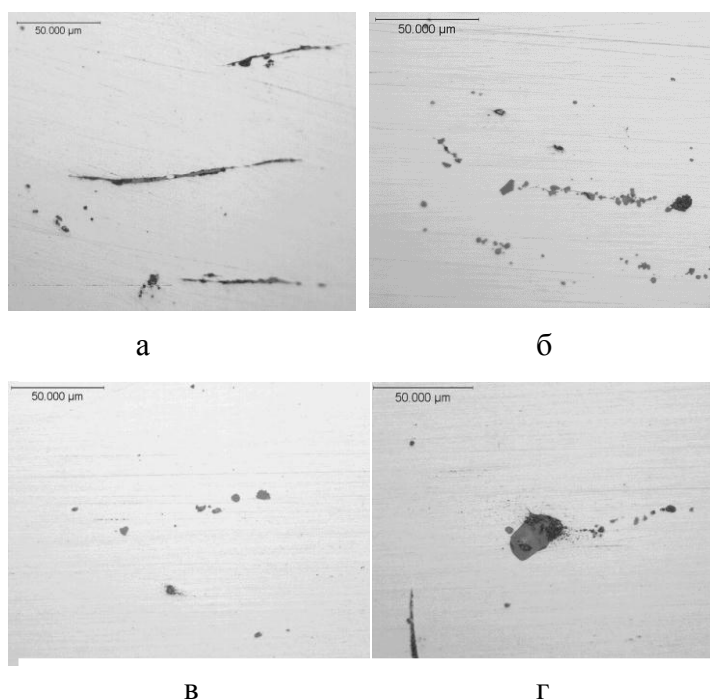


Рис.2. Неметаллєві включення у сталях.

## КОНЕЧНОЕ РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК

Л.Н. Бунина

Рассмотрена связь формы неметаллических включений и механических свойств. Показано, что получение глобулярных, недеформирующихся при ковке, включений оксидов и сульфидов церия, снижает анизотропию механических свойств.

## FINAL DEOXIDATION FOR FORGING STEELS

L. Bunina

The bond of nonmetallic inclusions form and mechanical properties are considered. It was shown that receipt of rigid globular oxide and sulphide cerium inclusions for forging decreased of mechanical properties anisotropic.