

МІКРОМЕХАНІЗМ РУЙНУВАННЯ ДЕФОРМОВАНОЇ СТАЛІ

Буніна Л. М., к.т.н., доцент,
Таврійський державний агротехнологічний університет
Мельник К.Л., викладач, спеціаліст I категорії
Мелітопольський коледж ТДАТУ

Наведено мікромеханізм руйнування при розтягуванні кованих марганцевистих сталей. Показано, що кращі результати забезпечило комплексне розкислення сталі алюмінієм та фероцерієм.

Постановка проблеми. Ковані марганцевисті сталі з вмістом вуглецю від 0,1 до 0,5% широко застосовуються у сільськогосподарському машинобудуванні: вали, осі, шатуни. Середньовуглецеві марганцевисті сталі 30Г и 35Г 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). Аналіз досвіду підприємств, що роблять поковки методом вільного кування показує, що даний технологічний процес має два основних недоліки: 1) високий брак зливків і поковок; 2) невисокі механічні властивості поковок, особливо на поперечних зразках. Можна припустити, що перший вид браку виливків і поковок викликається надлишковою кількістю сульфідних включень і їхньою несприятливою морфологією і топографією, а також надлишковою кількістю нітриду алюмінію на границях аустенітних зерен. 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. Низькі механічні властивості на поперечних зразках обумовлені високою деформованістю сульфідних включень. Для усунення описаних недоліків необхідно застосувати технологію кінцевого розкислення, що дозволяє одержати в сталі тугоплавкі сульфідні включення, що не деформуються при куванні, і обмежити утворення нітридів алюмінію на границі аустенітних зерен. При цьому технологія кінцевого розкислення сталі для ковальських зливків повинна забезпечувати одержання щільного металу і спадково дрібнозернистої структури.

Аналіз останніх досліджень. Неметалеві включення впливають на процес утворення мікротріщин. Сталь, що містить пластинчаті включення, руйнується значно раніше сталі з глобулярними включеннями [1]. Біля неметалевих включень спостерігаються поля напружень, радіус яких складає 4...5 радіусів включення. Отже, при змісті 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 внаслідок згущення смуг ковзання. Запропоновані методи кількісної оцінки ролі неметалічних включень у процесах зародження і поширення мікротріщин. Як основні показники, обумовлені методами кількісної металографії, приймаються: 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 показують, що незалежно від схеми напруження (статичне розтягання, циклічні навантаження) і температури досліджень, від 70 до 100% перших мікротріщин зароджуються на неметалевих включеннях (K_N дорівнює від 0,7...1,0), а при перших навантаженнях практично усі включення беруть участь у тріщиноутворенні ($K_{\text{нв}}=1$) [3].

Формулювання цілей статті. Метою роботи було вивчення впливу модифікування фероцерієм у порівнянні з розкисленням алюмінієм сталі 40Г з урахуванням їхньої технологічної текстури на процес руйнування.

Основна частина. 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 [4, 5, 6].

В зв'язку з тим, що роль неметалевих включень у процесах зародження та розвитку мікротріщин в литій сталі достатньо повно висвітлена у роботі І.П. Волчка [3], вивчали вплив неметалевих включень на мікромеханізм руйнування кованої сталі, розкисленої алюмінієм та алюмінієм і рідкоземельними металами (РЗМ). За методикою І.П. Волчка [3] досліджувався процес зародження і поширення тріщин на плоских поздовжніх та поперечних зразках—шліфах за допомогою приставки до металографічного мікроскопа. По

результатам аналізу деформованої поверхні зразків – шліфів були визначені показники руйнування K_L , K_N та K_{HMB} досліджуваного варіанта сталі. Вивчалась роль неметалевих включень у процесі руйнування кованої сталі 40Г після гартування та високої відпустки. Результати випробувань подані на рис. 1.

Показник K_N уявляє собою відносну кількість мікротріщин, які зароджуються на неметалевих включеннях, а показник K_L – їх відносну довжину. При ступеню деформації до 3% поперечних зразків в сталях, розкислених алюмінієм всі тріщини зароджувались на витягнутих залізо-марганцевих сульфідах. Аналогічним чином змінювався показник K_L . Зниження показників K_N та K_L , які визначили на поздовжніх зразках розкислених алюмінієм сталей мало місце при деформації близько 0,5 %. Таким чином в найбільшій мірі зародженню та розвитку мікротріщин витягнуті залізо-марганцеві сульфіди сприяли, якщо навантаження розтягування було нормальним до поздовжньої осі включення і в найменшій мірі при збігу осі включення та напряду пластичної деформації при куванні. Криві, які характеризують залежність показників K_N та K_L від ступеню деформації для сталей, розкислених алюмінієм та фероцерієм, займали проміжне положення.

Для всіх варіантів розкислення і типів зразків, при ступеню деформації близько 8% показник K_{HMB} дорівнює 1. Це свідчить про те, що при цій деформації всі включення сприяли зародженню та розвитку мікротріщин в сталі. З експериментальних даних також слідує, що K_{HMB} для поперечних зразків сталей, розкислених алюмінієм, досягає величини 1% при ступеню деформації 1,5...2%, тим часом як при випробуванні поздовжніх приблизно 4% і для поперечних і поздовжніх зразків сталі, розкислених алюмінієм і фероцерієм відповідно при 6 і 8%.

Були вивчені мікрорельєфи руйнування сульфідних включень на поздовжніх зразках. Мікротріщини зароджувались як у включеннях так і на поверхні розділу метал-включення та переходили в метал при деформаціях, що передують руйнуванню (рис. 2, а). У випадку менш деформованих включень тріщини також виникали у включеннях, але в процесі пластичної деформації в місцях скупчення включень, при деформаціях, що передують руйнуванню, утворювались каверни, порівняні з товщиною включень (рис. 2, б).

При випробуванні поперечних зразків з сульфідними включеннями в основному спостерігалось формування тріщини на поверхні метал-включення і перехід мікротріщини в металеву основу. Часто включення сульфідного типу приводили до утворення магістральних тріщин (рис.2, в).

При випробуванні поздовжніх зразків з церієвими включеннями мікротріщини зароджувались усередині включень і переходили при подальшій деформації в металеву основу. Ці включення найменш впливали на процеси зародження і розвитку мікротріщин у кованої сталі Іноді біля церієвих включень утворювались порожнини, унаслідок відділення останніх від металу, що свідчить про високу механічну міцність церієвих включень (рис.2, г).

Результати випробувань поперечних зразків з церієвими включеннями показали, що вони впливають на процеси зародження і поширення тріщин

приблизно таке ж, як і результати випробувань на поздовжніх зразках: тріщини зароджувалися як на поверхні метал-включення, так і в самому включенні з наступним переходом у метал (рис. 2, д). У випадку скупчення (строчечного розташування) церієвих включень, мікротріщини переходили від одного включення до іншого (рис. 2, е).

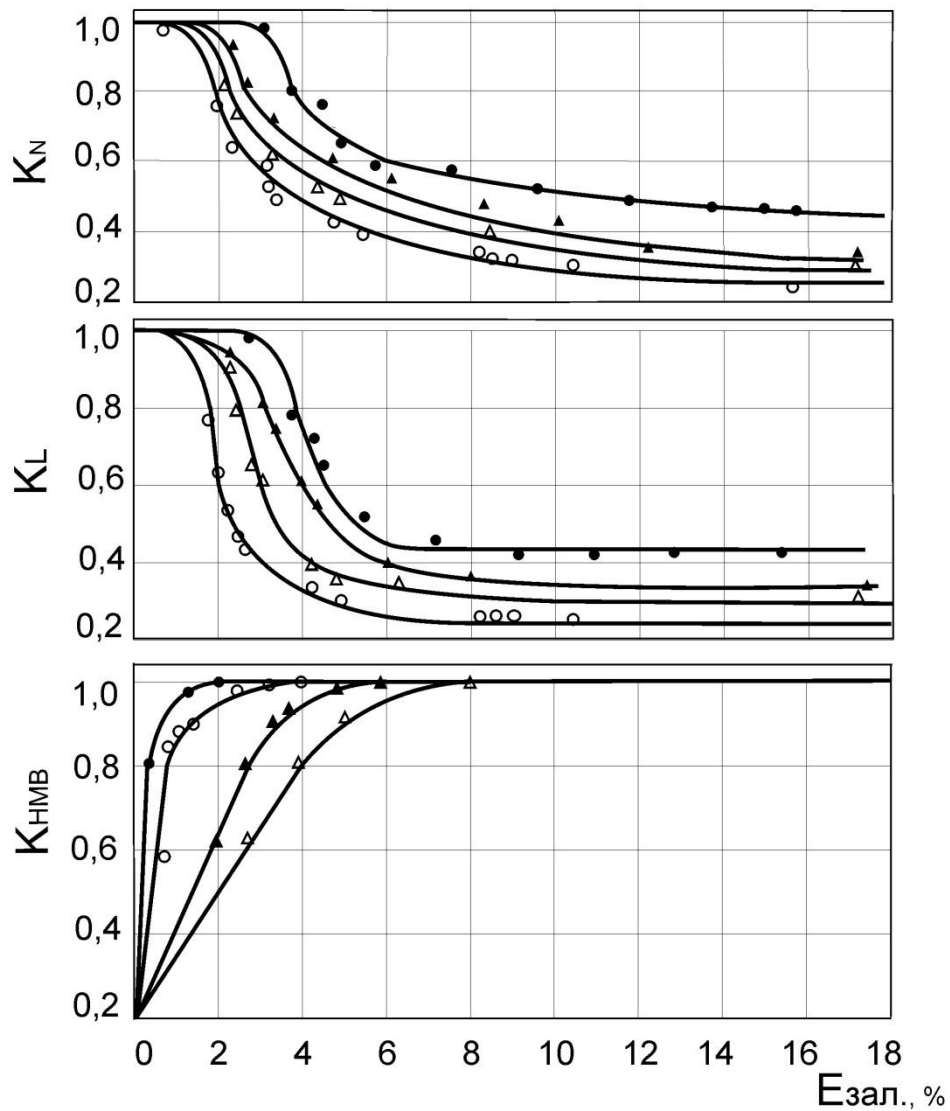


Рис. 1. Залежність показників K_{HMB} , K_N и K_L від залишкової деформації $E_{\text{зал.}}$ сталі 40Г: \bullet – розкислення Al, поперечні зразки;
 \circ – розкислення Al, поздовжні зразки;
 \blacktriangle – розкислення Al+FeSe, поперечні зразки;
 \triangle – розкислення Al+FeSe, поздовжні зразки.

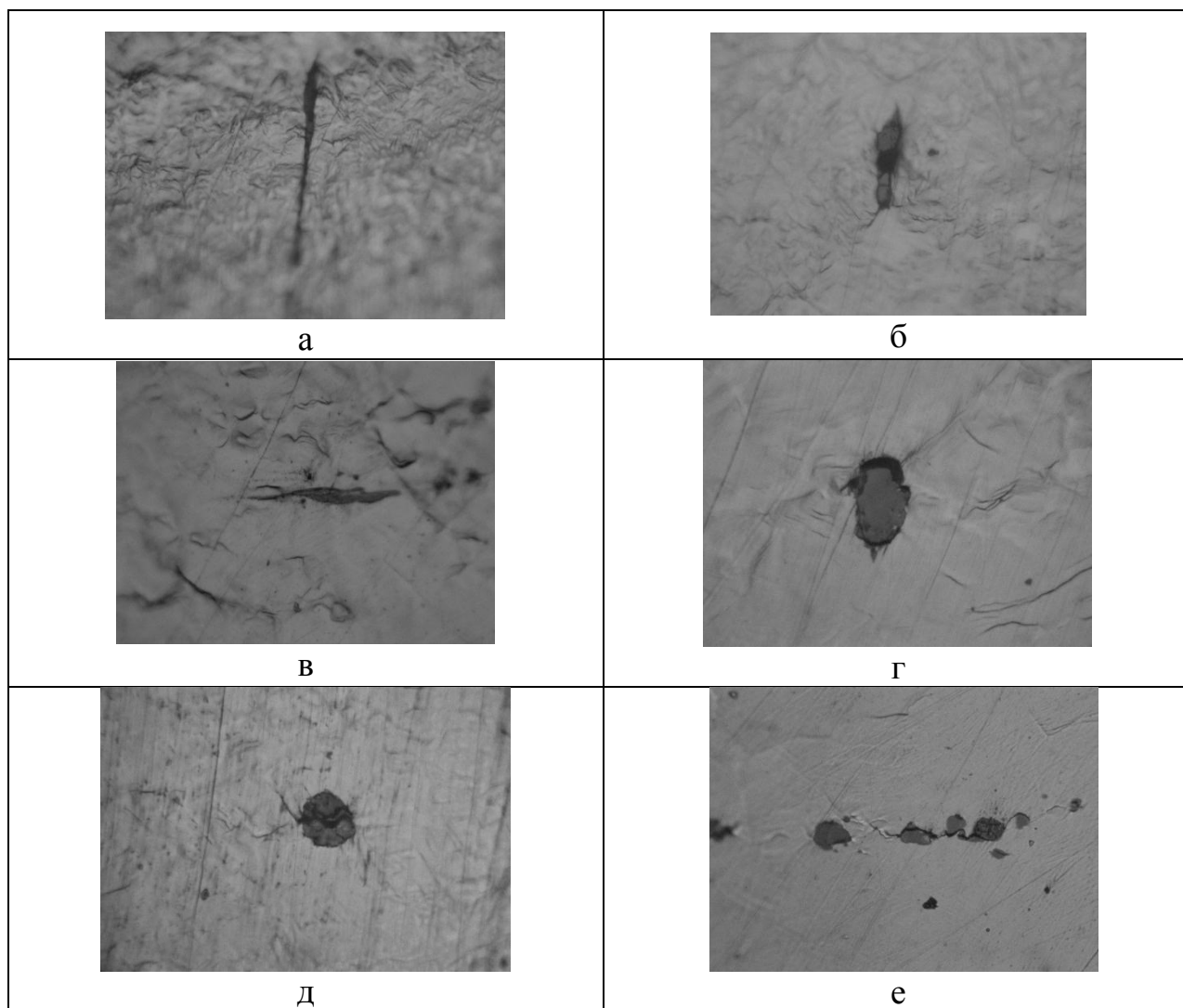


Рис.2. Зародження та розвиток мікротріщин в сталі 40Г: а – розкислення Al, поздовжній зразок; б – розкислення Al; поздовжній зразок; в – розкислення Al; поперечний зразок; г – розкислення Al+FeSe; поздовжній зразок; д – розкислення Al+FeSe; поперечний зразок; е – строчечне розташування церієвих включень, $\times 900$.

Висновки. За наявності неметалевих глобулярних включень ковані сталі мають перевагу перед кованими сталями з витягнутими неметалевими включеннями по опору руйнуванню при статичних навантаженнях.

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.: Металлургия, 1993. – 192 с.
4. Шульте Ю.А. Неметаллические включения в электростали / Ю. А. Шульте. – М.: Металлургия, 1964. – 207 с.
5. Поволоцкий Д. Я. Раскисление стали / Д. Я. Поволоцкий. – М.: Металлургия, 1972. – 208 с.
6. Малиночка Я.Н. Сульфиды в сталях и чугунах / Я. Н. Малиночка, Г. З. Ковальчук. – М.: Металлургия, 1988. – 244 с.

Аннотация

МИКРОМЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ

Л.Н. Бунина

Приведен микромеханизм разрушения при растяжении ковanej марганцовистой стали. Показано, что лучшие результаты обеспечило комплексное раскисление стали алюминием и ферроцерием.

Abstract

THE MICROMECHANISM OF DEFORMED STEEL FRACTURE

L. Bunina

The micromechanism of tension fracture of manganese steel for forging is given. It was founded that deoxidation of steel by aluminium and ferrocerium produced better results.