

The paper presents suggestions for calculating strength steel fiber-reinforced pipes and evaluation of stress-strain state of rectangular sections fiber concretes elements based on Prandtl chart.

Strength, element, reinforcement, basalt, fiber.

УДК 630.56.7

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТАЛІ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ВМІСТУ РЗМ

О.Є. Семеновський, кандидат технічних наук

Вивчено вплив неметалевих включень на морфологію структури сталі. Проведені дослідження механічних властивостей та мікроструктури сталей з РЗМ. Визначені оптимальні концентрації церію в сталі.

Модель, властивість, сталь, легування.

Постановка проблеми. Найважливішим напрямком в рішенні задач удосконалення конструкції машин, зниження їх металомісткості при одночасному збільшенні надійності і довговічності є підвищення якості металу. Мікросклад сплаву визначається мірою його чистоти, формою та складом неметалевих включень. Ці фактори істотно впливають на характер кристалізації, морфологію, склад і будову границь зерен і суміжних зон, тобто визначають цілу гаму технологічних і експлуатаційних властивостей.

Для вирішення поставлених у роботі задач розглянемо вплив цих легуючих елементів на експлуатаційні і технологічні властивості сталей, у залежності від багатоконпонентності легованих систем і умов структуроутворення.

Аналіз останніх досліджень. Неметалеві включення мають визначальний вплив на механічні та експлуатаційні властивості сталей. Так авторам роботи [1] вдалося підвищити на два порядки довговічність матеріалів для підшипників кочення при випробуваннях на циклічну втому за рахунок зменшення вмісту в сталі неметалевих включень. Сталь, взагалі, пропонується розглядати як багатофазний композиційний матеріал, в металічній матриці якого розподілені частки неметалевої фази [1, 2]. Властивості такого конгломерату залежать від характеру взаємодії неметалевої фази з металічною матрицею. Вони визначаються

© О.Є. Семеновський, 2014

різницею в механічних і термічних властивостях і особливостями структури границь сполучення структурних складових. Різниця коефіцієнтів термічного розширення кераміки і металу призводить до виникнення структурних напружень в металевій матриці і неметалевих включеннях, які можуть збільшувати напруження, що виникають в деталях при прикладенні зовнішніх навантажень в процесі експлуатації.

Залежність експлуатаційних характеристик сталі від розміру і кількості включень вказує на те, що при розмірі включень в діапазоні менше 30 мкм, не відбувається помітного зменшення зносостійкості. У випадку наявності більших включень (30...100 мкм) зносостійкість знижується до 40...50 відсотків нормального ресурсу.

Одним з найбільш доступним способом зменшення вмісту в сталі неметалевих включень і поліпшення їхньої морфології, є мікролегування сталі кальцієм і РЗМ [2-3].

Присадки РЗМ ефективні для подрібнення структури і формування заданої морфології неметалевої фази. Вони зв'язують сірку і кисень у важкодисоціюючі з'єднання. При цьому повністю виключається утворення плівкових сульфідів марганцю, які легко деформуються в рядки при прокаті. Зменшується загальна кількість включень, які викликають утворення тріщин. Неметалеві включення в модифікованих РЗМ вуглецевих і низьколегованих сталях (при реальному вмісті сірки і кисню) представлені, в основному, одно- та двофазними оксисульфідами РЗМ заокругленої форми, з різним співвідношенням кисню і сірки. Температури плавлення цих з'єднань перевищують температуру плавлення сталі. Вони практично не деформуються в процесі прокату. В дослідженнях виявлено подвійний ефект впливу присадок РЗМ в сталі (покращення якості металу внаслідок модифікування і зменшення вмісту сірки при його переплаві). Це характерно для модифікованої РЗМ сталі, тому що РЗМ утворюють з'єднання, котрі вміщують сірку, наявність яких в структурі сплаву покращує комплекс механічних властивостей сталі. В той же час, ці з'єднання здатні до самовільного видалення із рідкого розплаву. Зменшення вмісту сірки, відбувається внаслідок видалення (спливання) оксисульфідів РЗМ, які мають меншу щільність, ніж сталь і високі значення міжфазного натягу. Отриманий при переплавці модифікованої РЗМ сталі ефект десульфурзації забезпечив високий рівень її механічних властивостей.

У роботі [5] встановлено, що загальне забруднення металу оксидними включеннями зменшується при введенні РЗМ. Експерименти проводилися на низьковуглецевих сталях 15ХСНД і 10М2С1. При цьому відзначається, що РЗМ змінюють як фазовий склад, так і форму включень у прокатаному металі: від витягнутих

вздовж прокатки силікатів і сульфідів, окремих включень оксиду алюмінію, чи їхніх скупчень, до глобулярних гетерофазних включень оксисульфідів і оксисульфосилікатів церію і лантану. Оптимальною вважається присадка мішметалу в кількості 0,1%, при цьому підвищується весь комплекс механічних властивостей, особливо ударна в'язкість, що зростає в 1,5...2,0 рази на зразках, вирізаних вздовж напрямку прокатки, і у 2,0...2,5 рази на поперечних зразках. Крім того, відзначається зниження анізотропії властивостей сталі. Позитивно впливає РЗМ і на схильність сталі до зворотньої відпускнуї крихкості і холодостійкості. При оптимальному вмісті присадок мішметалу підвищується також прогартуваності сталі.

Зниження вмісту кисню, зникнення пластинчастих включень сульфиду марганцю, поява сульфідів церію глобулярної форми відзначається при введенні РЗМ в сталь 30ХГНА [6]. При виплавці низьковуглецевої сталі з РЗМ, введення присадок мішметалу привело до видалення сірки і кисню з розплаву в шлак, що складається з оксидів і сульфідів РЗМ. Відзначається, що тривала витримка сталі з РЗМ у процесі проведення плавки в інтервалі температур 1480...1550°C приводить до майже повного видалення сульфідів РЗМ із металу. В роботі [7] приводяться дані трохи протилежного характеру. Автори відзначають, що РЗМ з'єднуючись з киснем і сіркою, утворюють включення, що мігрують у нижню частину виливка.

Оптимальними кількостями легування сталі для фероцерію є 0,18...0,20%, феролантану – 0,10...0,12%. При цьому ударна в'язкість сталі в цих межах легування різко підвищується. Крім того, РЗМ значно поліпшують морфологію, розміри і розподіл нітридів у зміцненому шарі, мають каталітичні властивості при хіміко-термічній обробці [8], що пояснюється їх високою хімічною активністю за рахунок будови електронної оболонки – 4-S. Однак складність процесів, що відбуваються при проведенні плавки сталі з РЗМ, вимагає, в кожному окремому випадку, оптимізації її хімічного складу.

Дослідження останніх років показали, що неметалеві включення необхідно сприймати не просто як частинки (з точки зору механіки), які мають різну структуру та фізико-механічні властивості, а як складові, що при різноманітних обробках взаємодіють зі сталлю матрицею через міжфазні границі, які представляють собою самостійну структурну складову сталі і проявляють себе завдяки різноманітним структурним ефектам. Міжфазні границі - неметалеве включення-матриця сталі можуть розглядатися як "поверхнева" фаза, яка служить активним елементом структури сталі. При впливі зовнішніх навантажень в цих границях

відбуваються перетворення, які приводять до ефектів самоорганізації. Експериментально показано [9], що пікові зміни термодинамічних і зовнішніх параметрів на границях включення-матриця різко інтенсифікують процеси, які відбуваються в сталі і спричиняють нові перетворення в цих границях. Визначальний вплив на весь комплекс службових характеристик сталі має кількість і морфологія неметалевих включень[10]. З цього погляду найбільш перспективним є мікролегування сталі РЗМ.

Мета досліджень. Для вирішення поставлених в роботі задач щодо оптимізації хімічного складу сталі, яка повинна мати високий рівень технологічних характеристик і при цьому забезпечити необхідний ресурс роботи і надійності деталей машин, необхідно було визначити вплив вмісту легуючих елементів на структуру сталі в зміцненому і рівноважному станах, знайти взаємозв'язок між мікроструктурою і комплексом фізико-механічних і технологічних характеристик сталей. При цьому необхідно враховувати, що в серцевині деталей після зміцнення треба було отримати структуру з високим рівнем в'язкості і пластичності при достатній міцності, а на поверхні деталі мартенситна структура повинна мати високу твердість, маючи при цьому достатній запас питомої роботи руйнування, мінімальну схильність до зародження і росту мікротріщин.

Результати досліджень. Дослідні плавки сталей проводилися в 30-ти кілограмовій індукційній печі з основною футеровкою. Шихта для дослідних сталей складалася зі сталі 20, синтетичного чавуну з вмістом 4,40% вуглецю і відповідної кількості феросплавів. Хімічні склади отриманих сталей наведені в табл. 1.

1. Хімічний склад досліджуваних сталей.

Вміст легуючих елементів, %											
№ плавки	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Nb	Ce	Ca	S	P
1	0,15	0,35	0,99	1,00	1,07	0,03	0,07	-	0,005	0,029	0,028
2	0,15	0,38	1,09	1,07	0,91	0,04	0,06	0,005	0,005	0,019	0,021
3	0,16	0,42	1,08	1,03	1,00	0,04	0,07	0,01	0,005	0,018	0,023
4	0,16	0,43	1,01	1,06	1,10	0,05	0,08	0,02	0,005	0,022	0,020
5	0,15	0,4	1,02	1,05	1,10	0,05	0,06	0,035	0,005	0,026	0,021
6	0,16	0,37	0,96	1,13	1,18	0,04	0,08	0,01	0,005	0,023	0,019
7	0,17	0,39	1,02	0,94	1,08	0,08	0,08	0,01	0,005	0,023	0,021
8	0,17	0,38	1,01	0,97	1,05	0,03	0,07	0,02	0,005	0,023	0,021

Як видно з даних таблиці, вміст хрому, нікелю, марганцю, кремнію в дослідних сталях практично не змінювався, тому що є досить добре вивченим. Цього вдалося досягти за рахунок використання, в якості шихти, сталі однієї промислової плавки. Крім того для легування сталі були використані феросплави однієї партії. Основна увага приділена дослідженню впливу процентного вмісту в сталі РЗМ. Як механічні характеристики сталі визначались: міцність ($\sigma_B, \sigma_{0,2}$), пластичність (δ, ψ), твердість і ударна в'язкість.

Достовірність отриманих результатів перевищила 95%. Результати випробувань механічних властивостей наведені в табл. 2.

2. Механічні властивості досліджуваних сталей.

№ плавки	Характеристики					
	Межа плинності, σ_T , МПа	Межа міцності, σ_B , МПа	Відносне подовження, δ , %	Відносне звуження, ψ , %	Ударна в'язкість, КСУ, КДж/м ²	Твердість НРС
1	1171	1298	13	50	1230	43
2	1250	1380	17	54	1330	42
3	1179	1370	18	56	1412	42
4	1181	1330	17	55	1380	41
5	1150	1290	16	53	1180	41
6	1240	1420	17	55	1370	43
7	1210	1390	15	54	1290	44
8	1220	1410	16	54	1290	43

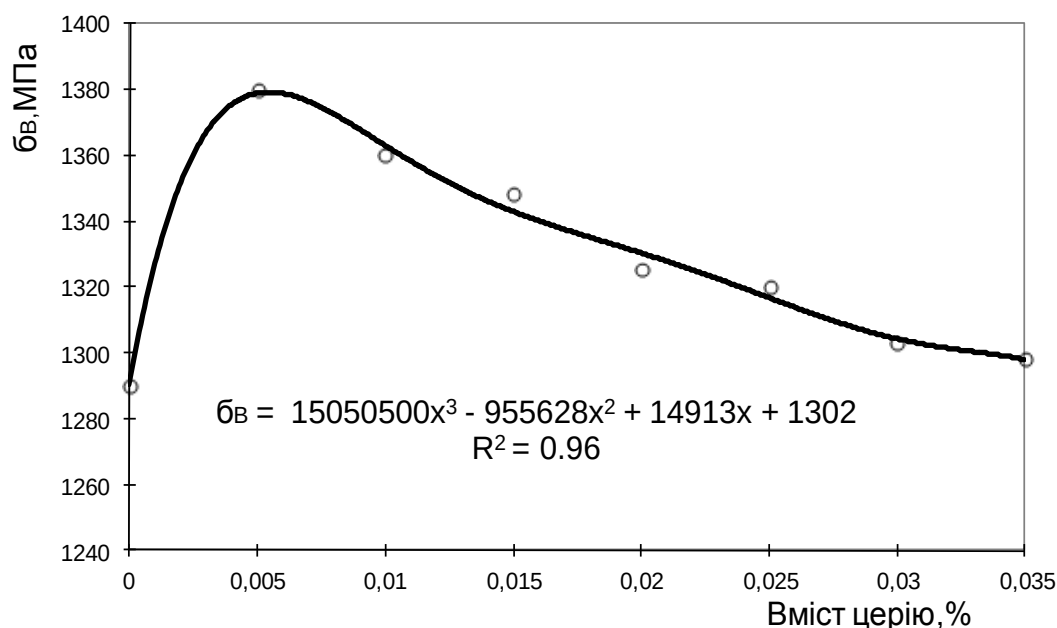


Рис. 1. Вплив церію на міцність сталі.

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що мікролегування сталі таким рідкоземельним металом як церій, в межах від 0,005 до 0,01%, приводить до одночасного підвищення характеристик міцності і пластичності (лише 0,005% церію підвищує міцність сталі майже на 100 МПа). Хоча можливо це пояснюється тим що легування церієм викликає зниження вмісту в сталі шкідливих домішок. При цьому спостерігається екстремум на кривій зміни межі міцності при вмісті церію сталі в межах 0,004...0,006% (рис. 1). Подальше збільшення ступеня легування цим елементом (у межах 0,01...0,02 %) приводить до незначного (на 30...40 МПа) падіння характеристик міцності, хоча і залишає їх на досить високому рівні. При введенні в сталь церію понад 0,03%, його вплив на міцність цілком нівелюється. Що стосується впливу церію на твердість сталі, то ми маємо стабільний характер зміни цієї характеристики, аналогічний до зміни властивостей міцності, про що свідчать дані наведені в табл. 2. Більш ефективно позначається мікролегування церієм на характеристиках в'язкості. Так ударна в'язкість сталі зростає майже на 200 КДж/м², при вмісті церію – 0,01% (рис. 2).

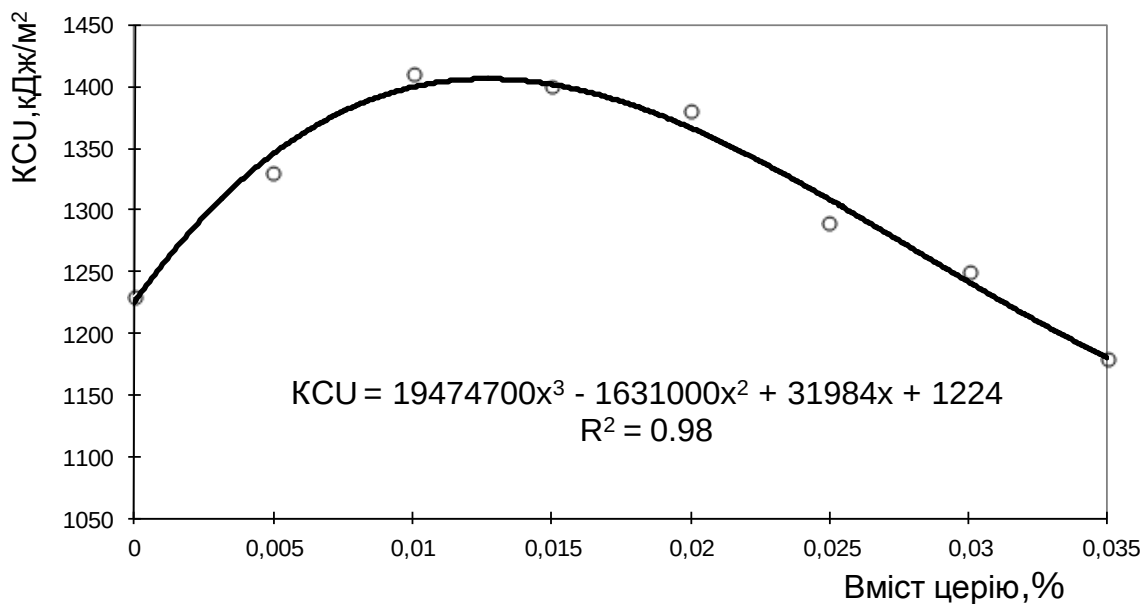


Рис. 2. Вплив церію на ударну в'язкість сталі.

На графічній залежності ударної в'язкості сталі від вмісту в ній церію чітко виражений екстремум в межах 0,009...0,012%. Підвищення ступеня легування цим елементом (вище 0,012%), приводить до зниження питомої роботи руйнування, аналогічно до зміни характеристик міцності. При вмісті в сталі церію понад 0,02% проявляється негативний його вплив на весь комплекс механічних властивостей.

Аналізуючи результати проведених випробувань щодо визначення механічних властивостей дослідних сталей, можна з достатнім ступенем вірогідності стверджувати про те, що для низьковуглецевих цементувальних сталей на основі марганцево-хромо-нікелевої композиції оптимальним є легування церієм у межах – 0,005...0,01%. Характерним для цієї сталі є також і те, що в її структурі не виявлені частинки сполук рідкоземельних елементів. Сполуки церію зустрічаються при дослідженні структури сталі №5 (табл. 1), легованої цим елементом в межах до 0,035%. Сульфідні включення церію в цій сталі (хімічний склад яких підтверджений даними рентгеноспектрального якісного і кількісного аналізу) мають розмір до 10 мкм (рис. 3), що і спричинило зниження рівня механічних властивостей сталі, особливо сильно це вплинуло на характеристики в'язкості.

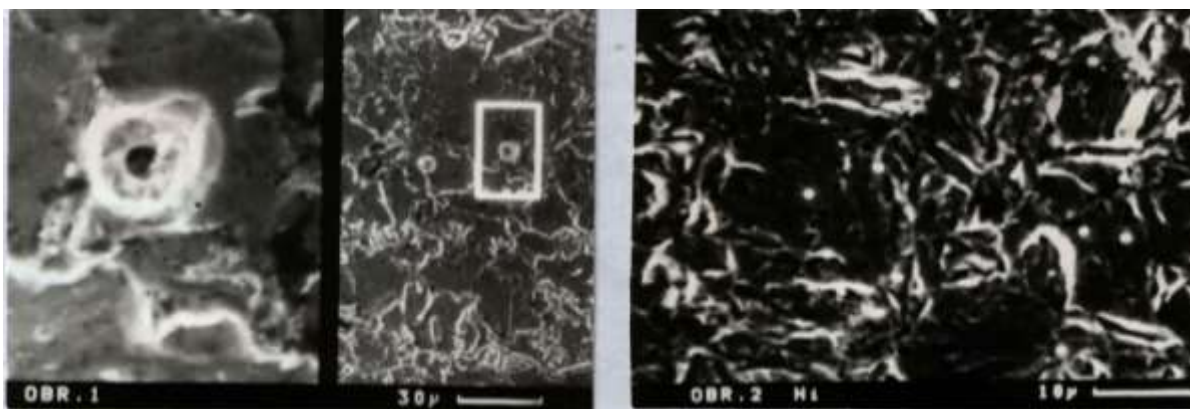


Рис. 3. Включення церію.

Проведені дослідження мікроструктури сталей легованих церієм дозволило пояснити характер зміни механічних властивостей сплавів досліджуваних композицій. При незначному ступені легування до 0,12, церій вступає в реакцію з домішковими елементами і сприяє рафінуванню сталі. При збільшенні його вмісту в структурі сталі з'являються неметалеві сульфідні включення, які знижують весь комплекс механічних та експлуатаційних властивостей.

Висновки

За результатами проведених досліджень впливу легування РЗМ на мікроструктуру і, як наслідок, на механічні характеристики сплаву, можна зробити наступні висновки:

1. Легування сталі церієм у малих кількостях (до 0,01%) підвищує ударну в'язкість сталі.
2. Міцність сталі інтенсивно підвищується при легуванні її церієм в межах до 0,004...0,006%.

3. Збільшення вмісту церію до 0,035% знижує механічні характеристики, тому що в структурі сталі, на границях зерен з'являються включення сульфідів церію.

Список літератури

1. Молотипов Б.В. Оценка опасности неметаллических включений в подшипниковой стали / Б.В. Молотипов // Сталь. – 1998. – № 1. – С. 66–69.
2. Бродецкий И.Л. Анализ неметаллических включений на границах зерен стали с карбонитридным упрочнением / Бродецкий И.Л., Харчевников В.П., Троцан А.И. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2004. – № 3. – С. 12–14.
3. Влияние редкоземельных элементов на подшипниковую сталь Nb-Ti с пониженным содержанием серы / Zhu Xingyuan, Zeng Jing, Liu Jixiong // Zhongguo Xitu Xebao J. Chin. Rare Earth Soc. – 2002. 20, № 2. – S. 182–185.
5. Стовпченко А.П. О двойном эффекте воздействия присадок РЗМ: модифицирование и десульфурация стали / Стовпченко А.П., Тімова Т.М., Павленко Ю.А. // Сталь. – 1999. – №8. – С. 68–70.
6. Cheng Xianlua. Влияние редкоземельных элементов на процесс азотирования / Cheng Xianlua, Ding Dingyuan, Lu Mingjiong, Lin Jiajun, Chen Nanping // Цзиньшу Жэчули. Heat Treat Met. – 1990. – № 12. – С. 3–8.
7. Корзун Е.А. Разработка технологии легирования стали и сплавов на основе хрома редкоземельными элементами в процессе электрошлакового переплава: Автореф. дис... канд. техн. наук: Е.А. Корзун. – Донецк, 1994. – С. 6–9.
8. Бережницкий Л.Т. Влияние неоднородностей материала на концентрацию напряжений возле остроконечных дефектов / Бережницкий Л.Т., Сенюк М.М., Приходский Т.В. // Физико-механическая механика материалов. – 1998. – № 2. – С. 87–92.
9. Губенко С.И. Локальные пики параметров и процессов на границах неметаллическое включение – матрица стали / С.И. Губенко // Сталь. – 1999. – №8. – С. 64–67.
10. Легирование и модифицирование стали с использованием природных техногенных материалов : монография / О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, В.И. Дмитриенко, М.А. Платонов. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2013. – 320 с.

Изучено влияние неметаллических включений на морфологию структуры стали. Проведенные исследования механических свойств и микроструктуры сталей с РЗМ. Определены оптимальные концентрации церия в стали.

Модель, свойство, сталь, легирование.

The effect of non-metallic inclusions in steel structure morphology. Past studies of mechanical properties and microstructure of steels with REM. The optimal concentration of cerium in steel.

Model, property, steel, alloying.