

УДК669.015.4:669.018.295.2

Л.В. Камкіна, О.Г. Безшкуренко,
Ю.І. Сокур, А.А. Надточий, В.С. Манідін

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА УТВОРЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ЗНИЖЕННЮ ЇХ КІЛЬКОСТІ

*Запропоновано ряд заходів для зменшення розмірів і кількості неметалевих включень в кордовій сталі. Рекомендовано: магнезитова футеровка промковша і стальковша, захист від вторинного окислення металу, вид засипки у промковші.
Ключеві слова: технологія, неметалеві включення, кількість і вид, рекомендації.*

Для уменьшения размеров и количества неметаллических включений в кордовой стали рекомендуется ряд мероприятий: магнезитовая футеровка промковша и стальковша, защита от вторичного окисления металла, вид засыпки в промковше.

Ключевые слова: технология, неметаллические включения, количество и вид, рекомендации.

To reduce the size and number of non-metallic inclusions in steel cord recommended a number of measures: mahnezytovaya tundish lining and stalkovsha protection secondary oxidation of the metal, type of backfill in the tundish.

Keywords: technology, non-metallic inclusions, the number and species, recommendations.

Конкурентоспроможність сталі обумовлюється стабільно високими експлуатаційними характеристиками. Чистота сталі стала технологічним параметром - фізичні і механічні властивості кінцевого сталевого продукту не повинні погіршуватися в результаті утворення небажаних неметалевих включень [1]. Найбільш істотно від кількості і морфології неметалевих включень залежить якість і механічні властивості металу, що піддається холодній деформації, яким є кордова, канатна сталі, листова сталь глибокої витяжки та ін. Неметалеві включення, що утворюються в результаті розкислення, можуть знижувати технологічні показники сталі. Це відноситься для сталі як у рідкому (разливаємість металу), так і в твердому (деформованість при волочінні, обривність і т.інш.) стані і, в кінцевому підсумку, впливати на ефективність процесу виробництва сталі, яким є вихід придатного [2-5].

Єдиного ідеального методу оцінки чистоти сталі не існує. Одні способи краще підходять для моніторингу якості, інші використовують в дослідницьких цілях. Тому, для більш точних оцінок вмісту неметалевих включень зазвичай застосовують кілька різних способів. Наприклад, використовують вимір загального вмісту кисню і електроннопроменево плавку для визначення кількості дрібних включень і удосконалений спосіб електроннопроменевої плавки і електролітичне виділення для визначення великих включень. Фірма Usinor використовує визначення загального кисню, а також методи часткового термічного розкладання, оптичної

емісійної спектроскопії, скануючої електронної мікроскопії для малих включень і методи електролітичного виділення і Маннесман для великих включень [6, 7]. Аналіз вимог виробників металокорду до якості по неметалевим включень, виконаним авторами [8] РУП БМЗ показує, що кожна фірма розробляє їх самостійно в залежності від умов виробництва і свого досвіду.

Визначення оптимальних параметрів рафінування сталі на агрегаті ківш-піч і роботи комплексу МНЛЗ в умовах конкретних підприємств є украй необхідною. Присутність неметалевих включень в сталі і, як наслідок, відкладення цих включень є причинами неминучого затягування занурюваних склянок. Навіть чиста сталь містить деяку кількість неметалічних включень, які приходять з реакцій в розплаві в якості продуктів розкислювання і вторинного окислення, а також ззовні подібно до продуктів ерозії вогнетривів або з шлаку. Значна кількість включень є присутньою в сталі і потім випечною обробки. У 325 тоннах сталі, що розкислює алюмінієм, із загальним вмістом кисню 15ppm міститься приблизно від 3 до 4 літрів щільного оксиду алюмінію, якого більш ніж достатньо для затягування розливної склянки в короткий час.

При безперервному розливанні затягування склянки одна з істотних проблем, якою на підприємстві необхідно управляти. При розливанні сталі що розкислює алюмінієм і, особливо, титан-содержащою особонизкоуглеродистою, частки Al_2O_3 - продукти розкислювання і вторинного окислення, які мають тенденцію до коагуляції і налипання на поверхню вогнетривких стінок, формуючи шар відкладень. Ці відкладення звужують переріз металопроводящего тракту в дозуючих системах, через які пропускається сталь і потік рідкої сталі обмежується. Це відноситься як до склянки проміжного ковша, так і занурюваній склянці і порушує режим протікання розливання.

Затягування склянок ускладнює розливання сталі. Шар відкладень впливає на характер потоку металу через дозуючу систему, формує несиметричний потік в кристалізаторі, що створює додаткові виробничі проблеми і проблеми управління якістю. Великі шматки включень можуть відокремитися від агломерованого відкладення і потрапити в потік сталі в кристалізаторі. Потім вони спливають до меніска, заплутуючись в затверділій кірочці сляба, формуючи дефекти в готовому металі.

Єдиного ідеального методу оцінки чистоти сталі не існує. Одні способи краще підходять для моніторингу якості, інші використовують в дослідницьких цілях. Тому, для точніших оцінок змісту неметалічних включень зазвичай застосовують декілька різних способів. Наприклад, NSC використовує вимір загального вмісту кисню і електроннопроменеву плавку для визначення кількості дрібних включень і вдосконалений спосіб електроннопроменевої плавки і електролітичне виділення для визначення великих включень. Фірма Usinor використовує визначення загального кисню, а також методи часткового термічного розкладання, оптичної емісійної спектроскопії, скануючої електронної мікроскопії для малих включень і методи електролітичного виділення і Маннесману для великих включень [7].

Аналіз вимог виробників металокорда до якості по неметалічних включення, виконаним авторами [8] РУП БМЗ показує, що кожна фірма розробляє їх самостійно залежно від умов виробництва і свого досвіду.

Нами використана методика оцінки неметалевих включень, яка розроблена автором [9], одним з критеріїв оцінки є F - доля площі, зайнятий НВ. Доцільно зіставити цей критерій із загальноприйнятою оцінкою по балах (таблиця 1 і рівняння 1).

Таблиця 1

Зіставлення максимального балу НВ і долі площі, зайнятий НВ

Доля площі, зайнятий НВ (%) при максимальному балі НВ :					
Максимальний бал	1	2	3	4	5
F, %	0,14	0,23	0,26	0,49	1,31

$$F = 0,26B - 0,29; r = 0,86; \quad (1)$$

де B - бал НВ по ГОСТ 1778; r - коефіцієнт детерміації. Таким чином, встановлений чіткий зв'язок між F і балом НВ.

У таблиці 2 приведені дані по зміні НВ по ходу виробництва сталі, проведених з відбором проб на усіх етапах виробництва сталі.

Таблиця 2

Зміна F по ходу виробництва сталі

Місце і час відбору проб	КПК-1	КПК-2	КПК-3	ПрК-1	ПрК-2	ПрК-3	ГП
F, %	1,66	0,46	0,53	0,43	0,42	0,31	0,40

Максимальна забрудненість сталі НВ - на початку обробки металу на КПК. Вже в середині обробки в результаті наведення білого шлаку і продування аргоном забрудненість сталі НВ знижується в 3,6 разу, залишаючись при подальшій обробці приблизно на одному і тому ж рівні. вплив різних технологічних чинників на характеристики НВ приведені в таблицях 3-6.

Таблиця 3

Вплив технологічних параметрів на характеристику НВ в катанці (увесь масив плавки)

Характеристики НВ, усереднені значення (за включенням hmax і dmax)	Параметри технології									
	Витрата SiCa на плавку, м				Футерування ПрК		Засипка		Захист струмені з стальковша	
	≤200	201-300	301-500	>500	Ох	Кхх	Керххх	Зхххх	+	-
F, %	0,44	0,38	0,26	0,30	0,28	0,41	0,33	0,28	0,27	0,36
l, мкм	5454	5134	4448	4052	3871	6490	5053	4138	3140	5213
пгл., %	11,4	31,5	18,45	25,4	21	13	15,4	8,8	48,0	14,0
hср, мкм	2,03	2,28	1,71	1,94	1,9	2,38	2,1	1,32	1,18	2,1
hmax, мкм	7,8	7,7	5,1	6,8	6,8	8,04	7,5	6,0	5,4	7,6
dср, мкм	7,25	5,6	3,83	7,4	4,95	8,65	4,22	4,3	7,2	6,3
dmax, мкм	12,1	8	7,3	9,1	6,93	14,4	9,6	4,3	7,2	8,8

x⁰ - основна, хх^к - кисла, ххх^{кер} - керамзит, хххх^з - зола рисового лушпиння.

Таблиця 4

Характеристики НВ в катанці при використанні промковшей з кислим і основним футеруванням

Футерування	N	n	F	l	n _{гл}	h _{ср}	h _{max}	d _{ср}	d _{max}
Кисла	16	65	0,5	7662	12,1	1,49	16	12	30
Основна	23	43	0,25	3167	22,1	1,95	20	7,3	20

Таблиця 5

Характеристики НВ в катанці, отриманій з використанням в'язкості засипки в промковші Slax2005(S) із олиї рисового лущиння (З)

Засипка	N	n	F	l	n _{гл}	h _{ср}	h _{max}	d _{ср}	d _{max}
S	10	44	0,553	6020	4,6	2,32	8	13,75	24
З	8	43	0,382	5470	9,9	1,86	7	11,15	18,75

Таблиця 6

Характеристики НВ в катанці, отриманій без захисту струменя (-) і із захистом струменя (+) з ПрКвДо (усереднені значення за винятком h_{max} і d_{max})

Захист струмені	N	n	F, %	l, мкм	n _{гл} , %	h _{ср} мкм	h _{max} мкм	d _{ср} мкм	d _{max} мкм
-	6	54	0,28	3019	23,1	2,43	7,6	4,84	10
+	6	56	0,12	2058	24,4	1,76	4,4	6,68	10

З літературних джерел відомо, що при введенні Са первинні продукти розкислювання легко спікаються, внаслідок низької температури їх плавлення, а великі НВ легко спливають. Зі збільшенням змісту Са кількість рядкових НВ зменшується. При Са/S > 0,3 вони зникають і замість них утворюються глобулі-оксисульфиди, що складаються з оксидного ядра і сульфідної оболонки. Форма таких НВ не змінюється навіть при гарячій обробці, що пояснюється високою температурою плавлення - 1600°C [10]. НВ алюмініатів не утворюються при Са/Al > 0,13 [10]. Відомо, що Са зв'язує поверхнево-активні елементи - кисень і сірку, що виділяються по межах зерен, завдяки чому зменшується схильність сталі до розтріскування, а збільшення вмісту Са супроводжується збільшенням відносного подовження і звуження і ударної в'язкості [11]. Гранична розчинність Са в залізі визначається вмістом вуглецю: при вмісті вуглецю С = 0,03% - вміст кальцію Са=0,03%; при С=0,8% - Са=0,05%.

Звичайна витрата SiCa на плавку складає 130-220 м (у вигляді порошкового дроту). Виходячи з викладеного вище, було запропоновано збільшити витрату SiCa до 600 м, проте на більшості плавок, проведених при такій витраті, спостерігалось затягування склянок в ПрК, що взагалі суперечить сталій думці, і на наш погляд пояснюється тим, що введення SiCa приводить до зменшення вмісту і активності кисню, тобто до підвищення t_{пл} НВ. Обдування струменя металу киснем при цьому призводить до зниження t_{пл} НВ і їх змиванню. Тому на подальших плавках витрата SiCa була обмежена величиною 400-500 м.

Вміст Са в SiCa складає 57 г/пог.м (30%). Міра засвоєння Са відразу ж після його введення на ПК - 24-30%, проте в ПрК вміст Са знижується в 2 рази в результаті його взаємодії з киснем і сіркою. По ходу розливання вміст Са в металі в ПрК практично не міняється.

Вміст Са до введення SiCa знаходиться в межах $(1...5) \cdot 10^{-4}\%$, вміст Са в ПрК при витраті SiCa 180-220 м - $(5...12) \cdot 10^{-4}\%$, при витраті підвищеної кількості SiCa - до $(25...40) \cdot 10^{-4}\%$, при цьому відношення Са/S наближається до 0,3.

Дію Са можна проілюструвати на прикладі плавки №1 - кількість НВ в металі на КПК до введення і після введення SiCa і в ПрК в середині розливання відповідно до 19, 112, 140, площа F - відповідно до 0,63; 0,25; 0,26%; $d_{\text{ср}}$ - відповідно до 25,6; 6,8; 8,2 мкм - тобто введення SiCa призводить до істотного подрібнення НВ і зменшенню площі НВ.

Обробка даних таблиці 3 (з урахуванням кількості проглянутих зразків N) дозволила отримати наступні регресійні рівняння:

$$F = 0,51 - 5,1 \cdot 10^{-4}L; \quad r = - 0,86 \quad (2)$$

$$l = 6070 - 3,98L; \quad r = - 0,99 \quad (3)$$

$$n_{\text{гд}} = 9,09 + 3,9 \cdot 10^{-2}L; \quad r = - 0,39 \quad (4)$$

$$h_{\text{ср}} = 2,17 - 7,83 \cdot 10^{-4}L; \quad r = - 0,59 \quad (5)$$

$$d_{\text{ср}} = 7,23 - 4,3 \cdot 10^{-3}L; \quad r = - 0,43 \quad (6)$$

$$h_{\text{max}} = 8,57 - 6 \cdot 10^{-3}L; \quad r = - 0,67 \quad (7)$$

$$d_{\text{max}} = 8,57 - 6 \cdot 10^{-3}L; \quad r = - 0,71 \quad (8)$$

де L - довжина дроту SiCa, м; r - коефіцієнт кореляції.

Усі отримані рівняння значущі ($r_{\text{кр}} = 0,22$ при N = 82). Таким чином, виразно видимим є позитивний вплив SiCa на зменшення забрудненості сталі НВ, на зменшення розмірів НВ і на збільшення долі глобулярних включень.

При кислому футеруванні ковшів в сталі збільшується вміст кисню. За літературними даними [12] у металі у поверхні ковша з кислим футеруванням a_0 дорівнює 40 ppm, в середині ковша 9-16ppm. У ковші з основним футеруванням - до 5ppm незалежно від місця відбору проб. У таблиці 4 зіставлені характеристики НВ по серіях плавок з кислим і основним футеруванням. За технологією у цих серіях тільки одна відмінність - перша виплавлена з використанням кислого футерування ПрК, друга, - з основним. За усіма показниками метал, вироблений з використанням основного футерування ПрК набагато чистіший по НВ порівняно з кислим футеруванням. Аналогічні результати отримані при обробці усього масиву плавок – таблиця 3.

В якості засипок в ході даного дослідження застосовували керамзит (Кер), золу рисового лушпиння (З) і Slax 2005 (S). Як впливає з таблиці 5 (обробка усього масиву плавок) при використанні засипки З метал чистіший по НВ, ніж при використанні засипки Кер (очевидно, це пов'язано з тим, що засипка Кер містить оксиди заліза, а засипка З не містить). У таблиці 5 зіставлені характеристики НВ на плавках з

використанням в якості засипок золи рисового лушпиння (З) і Slax 2005 (S). В даному випадку зіставлялися плавки, проведені за однаковою технологією (витрата SiCa - 400м, бору - 40м, основне футерування ПрК, без захисту струменя з ПрК із захистом із СК). З таблиці 5 витікає, що переважність на стороні засипки З за усіма критеріями оцінки НВ. Слід зазначити, що погіршення характеристики НВ при використанні засипки S сталося в результаті того, що на 3-х зразках з 10 F і l мали дуже високі значення 1,233...1,424% і 8840...13720мкм відповідно, що значно перевищують інші. Мабуть, це пов'язано з поганим "розтіканням" засипки S по дзеркалу металу в ПрК, що відзначалося при випробуваннях.

Про позитивний вплив захисту струменя на зменшення НВ свідчать багато джерел. У роботах [11,13], наприклад, встановлено, що якщо кількість НВ при відкритому розливанні прийняти за 100%, то при азотній завісі їх кількість зменшується до 37%, а при розливанні через погрузну склянку і використанні розливної суміші - до 14%. Аналогічні дані отримані в цьому дослідженні (таблиця 6).

Вміст MnO і TiO₂ в шлаку, відібраному з ПрК складає 10 і 0,54%, в шлаку з кристалізатора відповідно до 35 і 1,54%. В таблиці 7 приведений розрахунок кількості шлаку, що утворився при вторинному окисленні металу при розливанні відкритим струменем по балансу Mn і Ti, вміст Mn до МНЛЗ 0,963%, в готовому прокаті 0,944%, Ti - відповідно до 0,0032 і 0,0017%.

Таблиця 7

Розрахунок кількості шлаку, що утворився при вторинному окисленні металу при розливанні відкритим струменем

Елемент	Mn	Ti	V
Зміст елемента до МНЛЗ, %	0,963	0,00320	0,00060
Зміст елемента в готовому прокаті, %	0,944	0,00170	0,00110
Вицвіло, %	0,019	0,0015	0,0005
кг/пл	22,8	1,8	0,6
Утворилося оксиду, кг/пл	29,43	3	0,98
Зміст оксиду в шлаку з кристалізатора, %	35	1,54	-
Маса шлаку, що утворився, кг/пл	84,09	194,8	-
% до маси сталі	0,07	0,16	-

Розрахунки показують, що кількість шлаку складає 84 кг - 0,07% мас. по балансу Mn і 195 кг - 0,16% мас. по балансу Ti. Розбіжність, швидше за все, пов'язана з неточністю визначення вмісту Ti при низьких його концентраціях, проте, абсолютно ясно, що вторинне окислення вносить істотний вклад у збільшення НВ.

При розливанні відкритим струменем із СК відбувається збільшення НВ за рахунок вторинного окислення, з іншого боку - спливання НВ, причому ці процеси урівноважують один одного. При розливанні відкритим струменем з ПрК спливання НВ виключено. Питома поверхня струменя із СК складає 0,08см²/г, з ПрК 0,357см²/г, тобто в 4,5 разів більше. Проте, потрібний захист струменів як із СК, так з ПрК. З таблиць 5 та 7 витікає,

що захист струменя із СК покращує усі характеристики НВ – площа F , наприклад, зменшується в 1,33 рази. Ще більше разючі результати отримані при захисті струменя з ПрК – площа F зменшується в 2,33 разу (таблиця 6 отримана зіставленням на 3-х плавках характеристик НВ металу 2-х струмків, на одному з яких здійснювався захист струменя, на іншому захисту не було).

Зіставлення впливу різних технологічних чинників на зміну характеристик НВ приведене в таблицю 8. Максимальні значення характеристик НВ підкреслені (для $n_{\text{гд}}$ - мінімальне). Показано, що жоден з технологічних чинників не може бути абсолютним лідером за всіма характеристиками НВ (хоча при захисті струменя з ПрК отримано максимальне зниження F - в 2,33 рази). Тому усі заходи мають бути використані в комплексі. На одній з плавок були поєднані усі запропоновані заходи - підвищена витрата SiCa, хоча і не максимально можлива, засипка - зола рисового лушпиння, основне футерування ПрК, захист струменя із СК і ПрК, що дозволило отримати чисту по НВ сталь. За допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу на установці МС-46 "КАМЕКА" встановлено, що основним типом НВ в дослідних сталях, є багатокомпонентні одно- і двофазні силікати. Разом з ними спостерігаються сульфіди типу (Mn, Fe) S з ГЦК-гратками, "металеві" позиції, в якій зайняті переважно атомами марганцю.

Визначено, що НВ, в т.ч. великі, такі, що утворюються в сталях при виробництві за звичайною технологією сталеплавильного переділу, мають, як правило, підвищений вміст марганцю ("марганцеві" силікати). Такі НВ при високих температурах мають високу пластичність, порівнянну з пластичністю матриці сталі і при гарячому плющенні легко трансформуються у витягнуті уподовж осі плющення утворення, що мають при мікроаналізі вигляд суцільних або переривчастих смуг і стрічок. У плавках металу, зроблених за дослідною технологією з модифікуванням кальцієм, НВ зберігають округлу форму і в готовому прокаті на подовжніх зразках і характеризуються підвищеним вмістом кальцію, тобто відносяться до типу "кальцієвих" силікатів. Сульфіди в дослідній сталі, як і "марганцеві" силікати, формуються у витягнуті уподовж осі прокату утворення тільки при гарячому плющенні. У пробах, відібраних по усьому переділу з рідкої сталі і в НЛЗ НВ незалежно від складу мали сферичну форму.

Проведені дослідження НВ по ходу технологічного циклу показали, що раціональний вибір технологічних параметрів (захист струменя, наявність і певний тип засипки, склад використовуваного футерування, режим фінішного розкислювання) дозволяє забезпечити сприятливу морфологію і понизити зміст НВ в кордовому металі.

Таблиця 8

Зіставлення впливу різних технологічних чинників на зміну характеристик HB

Технологічні чинники	Зміна характеристик HB							
	F	l	n_{PrK}	$h_{сер}$	$h_{глах}$	$d_{сер}$	$d_{глах}$	
Відношення характеристик HB в сталі, зроблений з використанням кислого футерування PrK до характеристик HB в PrK з основним футеруванням.	1,46	<u>1,68</u>	0,62	1,25	1,18	<u>1,75</u>	<u>2,1</u>	
	2,0	2,4	0,55	0,76	0,8	1,64	1,5	
Відношення характеристик HB в сталі, зроблений із засипкою Кер до характеристик HB в сталі, зроблений із засипкою S.	1,17	1,22	1,18	<u>1,59</u>	1,25	1	<u>2,23</u>	
Відношення характеристик HB в сталі, зроблений із засипкою S до характеристик HB в сталі, зроблений із засипкою S.	1,45	1,10	0,46	1,25	1,14	1,23	1,28	
Відношення характеристик HB в сталі, зроблений без захисту струменя із сталью до характеристик HB в сталі, зроблений із захистом струменя.	1,33	<u>1,66</u>	<u>0,29</u>	0,56	1,41	0,88	1,0	
Відношення характеристик HB в сталі, зроблений без захисту струменя з PrK до характеристик HB в сталі, зроблений із захистом струменя.	<u>2,33</u>	<u>1,47</u>	<u>0,95</u>	1,38	<u>1,73</u>	0,72	1	
Відношення характеристик HB в сталі, при витраті SiCa 200 м, до характеристик HB в сталі при витраті SiCa 400 м	1,33	1,18	0,68	1,08	1,16	1,19	1,26	

Висновки

1. На підставі аналізу вимог стандартів провідних виробників до катанки для виготовлення металокорда обґрунтований комплекс заходів, що дозволяє забезпечити чистоту вуглецевої сталі за змістом домішок і НВ. З метою забезпечення якості сталі на рівні світових стандартів виконаний ряд удосконалень базової конструкції установки ковш-піч (проведена реконструкція ковша-печі, можливість вдування, що забезпечує, в ківш порошкоподібних матеріалів) і освоєння на УЖП нових технологічних прийомів, що дозволили інтенсифікувати процес шлакоутворення, підвищити десульфуруючу здатність шлаків і понизити вміст азоту в металі.

2. НВ в готовому прокаті, що впливають на якість сталі, представлені як включеннями, що перейшли з рідкого металу (в основному), так і твердими НВ, що утворилися при кристалізації. Експериментально встановлено, що в процесі кристалізації відбувається утворення твердих НВ SiO_2 (содержание SiO_2 збільшується з нуля до 17-21%), CaO (з 32 до 45%), можливо також утворення твердих НВ глинозему. Міра деформації НВ при плющенні в 2,6 разів нижче, ніж міра деформації металу.

3. Експериментально встановлено, що до зменшення розмірів і кількості НВ в кордовій сталі приводить: збільшення витрати кальційвмісного дроту; заміна глиноземного футерування стального ковша і промковша на магнезитову; заміна керамзитової засипки в промковше засипкою на основі золи рисового лушпиння; захист струменів металу від вторинного окислення із стального ковша і промковша, причому остання ефективніша.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Hassall G. J., Bain K. G., Young R.W., Millman M. S. Studies in development of clean steels. Part 1 Modeling aspects//Ironmaking & Steelmaking.- 1998.-v. 25.-№ 4.- P. 273-278.
2. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений в стали.-М.: Металлургия, 1991.-225с.
3. Явойский В.И., Неметаллические включения и свойства стали./Явойский В.И., Рубенчик Ю.И., Оленко А.П.//М.: Металлургия, 1980. - 176 с.
4. Явойский В.И. Включения и газы в стали. /Явойский В.И., Близнюков С.А., Вишкарёв А.Ф.// -М.: Металлургия, 1979 г., - 272 с.
5. Ершов Г.С. Микронеоднородность металлов и сплавов. /Ершов Г.С., Позняк Л.А. //М.: Металлургия. 1985. - С. 214.
6. Эльсмер Э. Шлаковые и оксидные включения при непрерывном литье стали /Э. Эльсмер, КХ. Кнапп, Д.Амелин гидр. //Черные металлы.-1977 -№ 23.-С. 17-22.
7. Burty M. Methodology of Steel Cleanliness Assessment/Burty M., Louis C., Dunand P.// La Revue de Metallurgie – CIT.-Vol. 97 (6).- 2000.-P.775-782.
8. В.В. Эндерс Совершенствование режима раскисления и внепечной обработки кордовой стали на основе информации об окисленности металла /В.В.Эндерс, М.П.Гуляев, Д.С. Якшукидр. /Литьеи металлургия.-2002.-№4.-С.143-147.
9. Губенко С.И. Неметаллические включения в стали./Губенко С.И., Парусов В.В., Дервянченко И.В.// -Д.: Арт-пресс, 2005.-536 с.

10. Обработка жидкой стали кальцием (обзор)//Черныеметаллы.-1980.-№1.-С. 19-30.
11. ЯкобиХ. Степень чистоты сталей, подвергнутых глубокой десульфурации кальцием/ЯкобиХ., КлемР., ВюнненбергК.//Черныеметаллы.-1987.-№ 17.-С. 9-17.
12. БанненбергН. Взаимодействие между огнеупорным материалом и сталью и его влияние на степень чистоты стали//Черныеметаллы.-1996.-№ 3.-С. 26-34.
13. ХоБ. Повышение степени чистоты стали при непрерывной разливке/ХоБ., ЯкобиХ., ВимерХ.А. и др.//Черныеметаллы.-1989. - № 12. - С. 22-29.