**Середенко Володимир Олексійович. Розвиток наукових та технологічних засад ковшової обробки сталі металевими добавками, отриманими у магнітодинамічних агрегатах. : Дис... д-ра наук: 05.16.02 - 2006.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Середенко В. О. Розвиток наукових та технологічних засад ковшової обробки сталі металевими добавками, отриманими у магнітодинамічних агрегатах.- Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спе-ціальністю 05.16.02 – Металургія чорних металів. – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, 2006.  Дисертація присвячена розвитку наукових і технологічних засад обробки сталі у ківшах твердими і розплавленими розкислюючими, модифікуючими, мікролегую-чими та легуючими металодобавками, які отримані в магнітодинамічних агрегатах під зовнішніми впливами. Методами математичного і фізичного моделювання та натурними експериментами досліджено процес взаємодії і визначено закономірності тепломасопереноса у рідких і рідко-твердих металевих середовищах, в тому числі при накладанні електромагнітних полів і інших зовнішних впливів. Вдосконалено і розроблено конструкції магнітодинамічних агрегатів та енергозберігаючі технологічні процеси виготовлення в них сплавів для ковшової обробки сталі. Розроблено і вдосконалено технологічні процеси обробки сталі у малотонажних і крупнотонажних ківшах металодобавками, які підготовані у магнітодина-мічних агрегатах. Технології апробувані у промислових умовах і забезпечили економію енергії та матеріалів, підвищення та стабілізацію властивостей сталі. | |
| |  | | --- | | На основі аналізу сучасного стану досліджень і розробок в галузі позапічної обробки сталі запропоновані та реалізовані концептуальні підходи до розвитку наукових і технологічних засад таких процесів. При цьому у дисертаційній роботі отримала подальший розвиток теорія тепломасообмінних процесів, що мають місце у ківшах при взаємодії рідкої сталі з твердими та розплавленими металодобавками, які отримані у магнітодинамічних агрегатах зі застосуванням зовнішніх впливів.  Встановлені основні закономірності процесів виготовлення у МДН-агрегатах металодобавок, їх увода та розподілення в об’ємі сталі. Розроблені та пройшли промислове випробування нове й вдосконалене обладнання, способи та технології позапічної обробки сталі металевими речовинами. Отримані у дисертації результати у сукупності складають суттєвий внесок у подальший розвиток теорії позапічної обробки сталі металевими матеріалами та вирішення важливої науково-прикладної проблеми підвищення ефективності сучасних та створення нових енерго- та ресурсозберігаючих технологій отримання металодобавок, адаптованих до конкрентних умов взаємодії зі сталлю та ковшової обробки ними сталі з забезпеченням її підвищених і стабільних властивостей.  1. З застосуванням методів теорії подібності і математичного моделювання показана можливість отримання металевих розплавів з твердих гетерогенних сплавів під сталевою оболонкою, що наморожується на металодобавці після її уводу у рідку сталь. Вперше встановлено, що умовами реалізації повного розплавлення металодобавок з температурою плавлення меншою, ніж у сталі є забезпечення співвідношення теплопровідностей рідкої сталі та твердої добавки Kсдl не вище граничних значень, що лінійно знижуються від 1,00 до 0,18 при зростанні добутку чисел Біо, Кірпічьова і Фур’є (BiKiFo) у кінці періода існування намороженої оболонки від 0 до 8 і Kсдl0,18 при BiKiFo> 8.  2. Теоретично обгрунтовано і експериментально підтверджено, що умови для прориву розплавленою рідиною металодобавки сталевої намороженої оболонки виникають ще до досягнення нею максимальної товщини і пов’язані з проявом ефекту Ребіндера. Показано, що частка розплавленої рідини добавки може розчинятися у рідкій сталі значно раніше (< 0,5tІІІ) часу повного розплавлення оболонки (tІІІ).  3. На основі екпериментальних досліджень взаємодії неізотермічних металевих рідин встановлений ефект існування міжфазної поверхні макрофаз у металевій системі з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому стані. Показано, що це пов’язано зі зміною гетерогенного стану пограничних шарів в умовах охолодження однієї рідини і нагрівання іншої. Визначено, що витікаючі у рідку (~ 1500C) сталь з-під сталевої оболонки, що наморозилася, менш нагріті об’єми алюмінію, які розплавились, відокремлювались від сталі міжфазною поверхнею, яка не виникала при більшій температурі сталі. З’ясовано, що концентраційні пікі у пограничних шарах розшарованих макрофаз, що існують у системах з обмеженою розчинністю компнентів у рідкому стані, та виникають при контакті рідких сталі і Al, знижувались у процесі їх взаємодії за рахунок переважного проникнення основи більш нагрітої тугоплавкої фази (Fe) у менш нагріту і тугоплавку (Al).  4. Встановлено, що насичення рідкого алюмінію залізом викликало падіння міжфазного натягу s12 добавки зі сталлю, а процес несталості міжфазної межі інтенсифікувався при зниженні концентрації Al у добавці до 25%мас. (s12 ~210-3 Н/м) і при підвищенні вмісту в цій фазі Fe до 96% мас. s12 різко зменшувалось (до ~610-5 Н/м). Встановлено, що диспергування алюмінію, що витікає у сталь з-під намороженої оболонки відбувається через розвиток несталості Кельвина-Гельмгольца на межі розділу фаз, а самоемульгування фаз виникає внаслідок розвитку несталості по типу Релея-Тейлора при зниженні s12 до 610-5 Н/м. Закономірності, які встановлені, дозволили розвинути уявлення про дію бар’єрних ефектів при взаємодії рідких металевих добавок на алюмінієвій основі зі сталлю і визначити шляхи їх переборення, зокрема, за рахунок зниження характерного розміру об’єму розплавленого Al безпосередньо перед контактом з рідкою сталлю.  5. Теоретично обгрунтований та практично підтверджений характер взаємозв’язку електричних характеристик магнітодинамічних агрегатів з електроопором рідкометалевого витка, який змінюється в процесі отримання багатокомпонентних металевих розплавів. Визначено, що в інтервалі зміни співвідношення активного електроопору витка r2 з індуктивним x2 від 0,5 до 2,0 сила електрострума у витку змінюється у 2 рази, а зростання цього співвідношення (r2 / x2) при отриманні розплавів енергетично вигідніше, ніж його зменшення в зв’язку з паралельним збільшенням коефіцієнту потужності агрегата.  6. Експериметтально встановлено, що в зоні вихіду рідкометалевого витка з канала у тигель агрегата (зона гирла канала) в розплаві відбувається перетворення частоти пульсацій електромагнітних сил (100 Гц) у більш низькі частоти: перші гармоніки - 0,006-0,083 Гц; другі - 1,09-1,40 Гц. Капілярним методом визначено, що при придушеній природній конвекції у розплаві з твердими металодобавками накладання змінного (50 Гц) електромагнітного поля з индукцією 0,03 Тл, яка характерна для поля розсіяння індуктора, що діє на метал у витку агрегата, веде, перед усім, за рахунок дії МГД-мікротечій до збільшення до 2,5 разів зони проникнення у розплав парамагнітної речовини з твердої добавки.  7. Шляхом теоретичних і експериметальних дослідженнь багатофакторної дії електромагнітних полів на гетерогенні розплави встановлені закономірності отримання сплавів у МДН-агрегатах. Теоретично обгрунтовано діапазон допустимих значень сили електроструму Iк, що перепускається по рідко-твердому металевому середовищу зі щильністю рідкого металу rм, середньою відносною магнітною проникністю середовища mк, у каналі з відкритою поверхнею при глибіні hк розплаву (3,95103 Iк3,44103). Встановлені безрозмірні числа Gg= = і Gc = , що характеризують зміну активного опору витка індукційної одиниці при отриманні відповідно гомогенних і гетерогенних сплавів. Визначено, що стабільність електроструму у каналі МДН-агрегата та його функціювання в оптимальному режимі забезпечується при Gg = 1 або Gc = 1. На цій основі разроблений спосіб стабілізації електрострумових навантажень металевого витка агрегата при зміні електроопору розплава у випадку увода в нього твердих металоприсадок. Це сприяло розвитку теорії отримання сплавів у індукційних пічах магнітодинамічного типу.  8. Аналітичним шляхом з використанням методів теорії подібності досліджені процеси увода рідких лігатур відкритим струменем в ківш, який наповнюється сталлю, і змішування у ньому розплавів. Встановлено, що впровадження струменя лігатури повинно здійснюватися у зону низхідного руху сталі у крупномаштабному циркуляційному контурі розплаву у ківші, а при співвідношенні швидкостей струменів лігатури і сталі KV1 1 та їх витрат KQ1 > 0,09 раціонально і злиття струменів перед їх впровадженням в розплав. Встановлено, що найбільше зростання питомої потужності перемішування розплаву досягається при початку увода легуючої добавки до заповнення 0,4 висоти ківша (KH0,4), співвідношеннях KQ1 > 0,5 и KV1> >1. Встановлені залежності, що враховують фізичні властивості добавок (щильність, в’язкість, поверхневий натяг), їх швидкісні характеристики, геометричні співвідношення металотракту і ківша, на основі яких визначені умови, що забезпечують компактність, необхідні траекторії та швидкості струменів лігатур. Створено алгоритм розрахунку процесів ковшового легування сталі рідкими металодобавками, що подаються відкритим струменем з магнітодинамічного агрегату у крупнотонажний ківш в процесі його наповнення сталлю.  9. Методом фізичного моделювання визначено, що процеси диспергування та інжекції потіком інертного газу при його мінімальних витратах (характерних для гомогенізуючої продувки розплавів) легуючою добавкою, що легко окислюється, розплавленій та спрямованій з МДН-агрегату у фурму, яка занурена у сталь в наповненому ківші, протікають у стабільному режимі при забезпеченні умов: течія добавки у фурмі перед контактом зі супутним газовим потіком у струмковому або плівковому режимах; збудження короткохвильових збурень у рідкій добавці в зоні виходу на контакт з газовим потіком; контакт добавки і газового потіку на вихідній ділянці фурми; співвідношенні витрат газу і добавки >13,5. Теоретично встановлено, що при зниженні діаметра крапель < 110-3м процеси нагріву і розчинення рідких роздрібнених добавок у сталі відбуваються практично миттєво (< 1с), а процес розчинення всієї дози лігатури лавиноподібно прискорюється.  10. Теоретично визначені та проаналізовані закономірності взаємодії потіку сталі, що розтікається по дну малотонажного ківша з твердими металодобавками, які розміщені на його дні та відрізняються за формою та розмірами. Встановлено, що потік сталі переміщує циліндричні та коничні добавки внаслідок дуже низьких значень (~0,3H) сили тертя качення, незалежно від їх маси та діаметра. Визначено найбільш раціональний період перемішування сталі з основною масою металодобавок, що розплавились, (перша третина часу наповнення ківша). Показано, що зростання місткісті ківшів від 1 т (Hк 0,5м) до 40 т (Hк > 2м) утруднює забезпечення гомогенності розплаву, внаслідок підвищення глибини об’єму, а зростання радіуса ківша веде до збільшення коефіцієнту ефективної дифузії De. Отримані результати створили основу розвитку теорії обробки сталі у малотонажних ківшах при уводі в них перед випуском плавок з електропічей твердих металодобавок, які отримані у магнітодинамічних агрегатах.  11. На основі проведених досліджень розроблені нові енергоефективні технологічні процеси отримання у МДН-агрегатах з закритим каналом однорідних сплавів для розкислення і модифікування сталі, що на третину знижує енерговитрати, порівняно з застосуванням індукційних тигельних пічей. Визначено, що для ефективного розчинення твердих металевих компонентів сплаву у його рідкій основі необхідно забезпечити осцилюючу електровихорову течію розплаву (S » 1109) у зоні добавок при Re > 8103, а температуру розплаву підтримувати на рівні температури солідусу твердих компонентів. Розроблені спеціальні конструкції індукційних пічей магнітодинамічного типу з повністю та частково відкритим каналом для приготування гетерогенних сплавів для ковшової обробки сталей, які дозволили інтенсифікувати теплообмін і змочування твердих компонентів розплавом, та розширили технологічні можливості виробництва гетерофазних сплавів. Встановлені основні параметри процесу обробки твердих компонентів: в зоні увода і взаємодії добавок з розплавом щильність електрострума 1106 А/м2 (S 1106) та напруженість магнітного поля 1104 А/м; увод дисперсних добавок в зону сполучення вертикальних МГД-течій. Розроблені нові енергозберігаючі технологічні процеси отримання гетерогенних сплавів для розкислення, модифікування та мікролегування сталі у ківшах, основу яких складає алюмінієва матриця, що містить подрібнені (110-3 м), а для мікролегування й порошкові (~110-5 м) компоненти. Визначено, що питомі витрати електроенергії при виготовлені гетерогенних сплавів в порівнянні з гомогенними тих самих складів зменшились втричі.  12. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень створені нові і вдосконалені існуючі технологічні процеси ківшової обробки сталі металодобавками, отриманими в МДН-агрегатах. Вдосконалені ресурсозберігаючі процеси легування сталі у крупнотонажних ківшах рідкими металодобавками пройшли випробування на Череповецькому меткобінаті (увод диспергованого алюмінію у потоці аргону у наповнений ківш) та Донецькому металургійному заводі (увод сплавів марганцю відкритим струменеем при наповненні ківша). Забезпечені високі показникі засвоєння легуючих елементів (95-99%) та однорідності розподілу в об’ємі сталі (< 0,02% мас.), що дозволило отримувати сталі з концентрацією легуючих елементів на нижній межі марочного складу. Нові технологічні процеси, що розроблені для розкислення, модифікування й мікролегування кислої електросталі у малотонажних ківшах твердими металоприсадками, впроваджені на заводах “Ленінська кузня” та “Будшляхмаш”. Промислове використання технологій обробки сталі твердими присадками, отриманими в МДН-агрегатах, дозволили значно спростити процес ковшової обробки, суттєво покращити її технологічні та економічні показникі, підвищити та стабілізувати механічні властивості на рівнях, що перевищують вимоги стандарта (sв в 1,4 рази, y в 1,6, а sт, d і *а*н в 1,8 рази), знизити втрати від браку на 1,3%, зменшити витрати металевих матеріалів на 17 кг/т сталі, збільшити ефективність термообробки товстостінних (0,25 м) литих деталей відповідального призначення.  Теоретичні положення, рекомендації та висновки дисертаційної роботи є достатньо обгрунтованими і коректними, оскількі базуються на фундаментальних законах фізики та коректних припущеннях. Достовірність результатів та адекватність моделей підтверджується експериментальними даними, зокрема тими, що отримані автором на лабораторному та промисловому обладнанні. | |