

УДК 669.715.046.52

Виготовлення сплавів алюмінію з активними елементами у магнітодинамічних печах

В.О. Середенко, доктор технічних наук

О.В. Середенко, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Розглянуті особливості виготовлення рідких сплавів алюмінію, які містять активні елементи у магнітодинамічній печі. Визначені параметри отримання сплавів AlCe, AlMg, AlSiMg, AlSiCa. Встановлені зони переважного впливу електромагнітних полів індуктора і електромагніта на просякнення металом вогнетриву каналу печі та визначено умови зниження металізації футеровки.

Технологічні можливості магнітодинамічних агрегатів дозволяють використовувати їх при виплавці сплавів і лігатур, зокрема на основі алюмінію, які містять значну кількість металів, що переважають за хімічною спорідненістю до кисню основу сплава [1]. Струмінг рідкого алюмінію, який витікає з каналу магнітодинамічної печі, забезпечує концентровану гідродинамічну і термічну дію на присадки, які містять метали, що підвищують спорідненість розплава до кисню (Mg, Ca, Ce). За рахунок створення в об'ємі метала вихорових течій інтенсифікуються процеси як турбулізації пограничного шару так і розподілу елементів присадки в об'ємі розплаву.

На вміст вказаних елементів в отриманих у магнітодинамічних печах сплавах, перед усім впливає ступінь окислення його при виготовленні, термічні можливості футеровки, перед усім каналу, а також процеси заростання каналу оксидами та металізація його стінок. Це знижує величину електроструму в рідкометалевому витку і ефективність дії електромагнітних полів на розплав.

Метою досліджень було встановлення граничних концентрацій Mg, Ca, Ce у сплавах на основі алюмінію при їх виготовленні у магнітодинамічних печах, раціональних температурних і електричних параметрів виплавки, пов'язаних з особливостями присадок, та можливостей підвищення ресурсу безперервного функціонування каналу печі у номінальному режимі.

Дослідження виконували для сплавів AlCe і AlMg у двоіндукторній (МДН – 6) та одноіндукторній (МДН – 3, сплав AlSiCa) печах [2]. Перед внесенням холодних (20 °С) присадок розплав алюмінію масою 40 кг в печі МДН – 6 мав температуру 680 °С при напруженні на індукторах 65 В і електрострумах в їх обмотках відповідно 130 і 140 А. В печі МДН – 3 розплав алюмінію мав температуру 950 °С при напруженні на обмотках індуктора 47 В і електрострумі 260 А. Термопара (ТХА) постійно знаходилась у розплаві на глибині 100 мм. Добавки церію (Мц 40) масою 2,0 кг почергово вводили на дно тигля біля центрального каналу, добавки магнію (Мг 90); масою 0,5 кг вводили в розплав над центральним каналом і утримували від спливання сталевими стрижнями. SiCa (СК 30) порціями по 2 кг додавали у розплав в зону гирла каналу. Час розчинення присадок контролювали. Проби металу для хіманалізу відбирали з тигля печі, а оксидної плівки – з поверхні розплаву. Зразки футеровки

Плавлення і кристалізація

каналу після вичерпання ресурсу його безперервної роботи розрізали перпендикулярно поздовжній вісі каналу. Аналіз складу футеровки виконували на спектрографі ИСП – 22 і рентгенівській установці УРС – 35.

При виготовленні сплавів алюмінію з церієм, його добавки у розплав підвищували температуру сплаву на 15 °С на кожен 1 % мас. частки церію. До 15 % Се у сплаві при температурі 680 °С суттєвих змін окислювання і величини струму в каналі не відбувалось. Швидкість приготування сплаву алюмінію з церієм становила 1 % за 0,1 год при енерговитратах ~ 0,1 кВт/кг. Подальше підвищення вмісту церію призводило до накопичення, вірогідно, інтерметалідів у зонах каналу, наближених до магнітопроводів індукторів, і зниженню ступеня перемішування розплаву в тиглі.

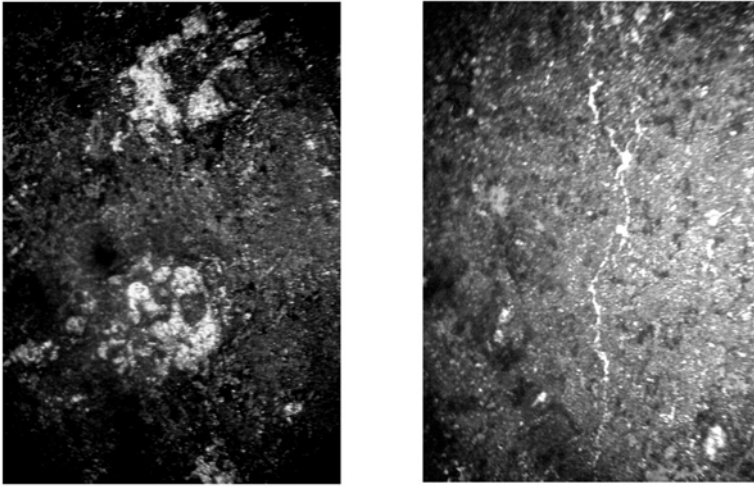
При отриманні сплавів алюміній-магній розплав охолоджували при розчиненні магнію (Mg 90) зі швидкістю 10 °С на 1 % Mg у сплаві. Це викликало зниження швидкості розчинення магнію у 2 рази кожні 10 °С. До концентрації 10 % Mg у сплаві окислення відкритої поверхні розплаву в тиглі печі було помірним, а електрострум у каналі не змінював своєї величини. Підвищення вмісту магнію призводило до значного окислення розплаву. При використанні сплаву алюмінію з 11 % кремнію розчинення магнію в ньому при концентраціях його понад 10 % сповільнилось. Підвищення вмісту магнію в сплаві до 27 % призводило до падіння на 15 % сили електроструму в каналі. Це пов'язано зі зростанням активного електроопору розплаву в каналі за рахунок його заростання оксидами. Підвищення вмісту магнію в розплаві від 27 до 38 % призводило до зростання кількості оксидів на поверхні і в об'ємі розплаву, втрати рідкотекучості сплавом і подальшого зниження сили електроструму. Середнє відхилення концентрації магнію в розплаві при різних його вмістах становило $\pm 0,7$ % при температурі отримання сплаву 700 °С і енерговитратах ~ 0,2 кВт/кг.

Наявність у сплавах на основі алюмінію більш активних до кисню елементів може призводити до хімічної взаємодії розплаву з футеровкою, яка переважно сформована з оксидів алюмінію та кремнію і зменшувати краєвий кут змочування Θ [3]. Розрахунки показали, що при змочуванні розплавом вогнетриву ($\Theta \approx 70^\circ$) метал проникає у пори всіх розмірів з високою (більше 10 м/с) швидкістю.

Дослідження металізації вогнетривів сплавами алюмінію з активними до кисню елементами проведені у магнітодинамічних печах при приготуванні сплавів алюмінію (АВ91) з силікокальцієм (СК30). Результати досліджень наведено у таблиці. Зростання вмісту кальцію в розплаві на 1 % відбувалось в середньому за 0,4 год при енерговитратах, менших 0,8 кВт/кг. Оксидна плівка на поверхні розплаву була щільною. Металізація найбільш стійкої в розплаві футеровки (шамотної цегли, вміст Al_2O_3 менше 45 %) була неоднорідною і характеризувалась наявністю локальних зон збагачення металом і поодинокими заповнених сплавом мікротріщинами (рисунок). Проникнення металу у футеровку каналу позначилось на зменшенні величини електроструму, що протікав по металу та металізованій частині вогнетриву. Найменше

Характеристика футеровки та параметри виплавки сплавів Al-Si-Ca в установці МДН-3

| Масова доля кальцію в сплаві, % | Температура виплавки / розливки сплаву, °С | Максимальна швидкість просякнення різних типів футеровки, м/с | | |
|---------------------------------|--|---|-------------------------------|----------------------|
| | | Вологран | Вогнетривкий (шамотний) бетон | Шамотна цегла |
| 4,5 | 680/650 | $2,81 \cdot 10^{-9}$ | $3,15 \cdot 10^{-9}$ | $0,06 \cdot 10^{-9}$ |
| 17,5 | 1100/950 | $6,94 \cdot 10^{-9}$ | $9,45 \cdot 10^{-9}$ | $0,29 \cdot 10^{-9}$ |



а

б

Структура металізованої футеровки (шамотної цегли) магнітодинамічної печі.
а – зони локально збагачені металом, б – мікротріщина заповнена сплавом. $\times 100$.

(на 5 %) це вплинуло при виплавці сплавів з футеровкою з шамотної цегли (час роботи печі ~ 1000 год). Найбільше (на 10 %), при футеровці з вогнетривкого бетону (вміст Al_2O_3 ~ 35 %, час роботи печі ~ 900 год). Вона за цей час просякла металом на всю товщу (100 мм). Це вказує на те, що питомий електроопір металізованої футеровки не менш, ніж на порядок, перевищував цей показник рідких сплавів, які виплавляли в печі.

Для футеровки з волограну (вміст Al_2O_3 ~ 40 %, CaO ~ 25 %) максимальне (23 мм за 180 год) значення величини просякненого металом шару вогнетриву зафіксовано в робочій зоні нижньої частини каналу, де, крім електроструму, генерованого індуктором, на метал діяло електромагнітне поле електромагніта. Внутрішня частина футеровки каналу, наближена до обмотки індуктора і біля якої сконцентрована найбільша за перерізом рідкометалевого витка густина електроструму, металізувалась до 18 мм. Футеровка каналу з зовнішнього боку витка, яка більш віддалена від обмотки індуктора, просякла металом на 8 мм, а в районі робочої зони, де діє поле електромагніта, на 11 мм. Верхня частина футеровки каналу насичена металом менше, ніж на 6 мм. Така картина проникнення металу була подібна і для футеровки з шамотної цегли. Спектральний аналіз металізованих шарів футеровки показав наявність Al, Ca, Mg, Fe, Cu. Рентгеноспектральним аналізом встановлено, що основна частина такого металізованого вогнетриву складається з α - Al_2O_3 та Al_2SiO_5 , присутні також сполуки CaO , CaFe_2O_4 , MgO , SiO_2 . Збільшення температури виплавки сплавів майже вдвічі, як і концентрації кальцію (вчетверо) призвело до підвищення швидкості просякнення футеровки металом у 3 – 5 разів.

Дослідження показали, що зростання вмісту Al_2O_3 у футеровці і відповідне зниження SiO_2 підвищило її стійкість у сплавах. Тому застосовано вогнетривку масу з високим вмістом Al_2O_3 (більше 90 %, МК-90), водяне охолодження кожуха стінок каналу, які розташовані ближче до обмотки індуктора і в зазорі електромагніта. Це дозволило різко зменшити металізацію вогнетрива каналу та значно (у 2 рази порівняно з шамотною цеглою) підвищити ресурс безперервної експлуатації печі при виплавці алюмінієвих лігатур з робочими температурами понад 1000 °С.

Таким чином, експериментально встановлено, що розчинення церію в алюмінії в тиглі магнітодинамічної печі призводить до розігріву розплаву (15 °С на 1 % Ce), а розчинення магнію охолоджує розплав (10 °С на 1 % Mg). Визначено швидкість отримання сплавів, раціональні електричні навантаження індукторів печі, зони впливу електромагнітних полів на металізацію вогнетриву каналу і умови протидії зниженню сили електроструму в каналі. Встановлено граничні концентрації активних до кисню металів у сплавах з алюмінієм, які можуть ефективно виплавлятися у магнітодинамічних печах при енерговитратах 0,1 – 0,8 кВт/кг (церій до 15 %, магній до 27 %, кальцій до 18 %).

Література

1. Полищук В.П. Критерии оценки пригодности МГД техники для литейного производства // МГД в литейном производстве и металлургии. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1984. – С. 3 – 10.
2. Полищук В.П., Цин М.Р., Горн Р.К. Магнитодинамические насосы для жидких металлов. – Киев: Наук. думка, 1989. – 256 с.
3. Найдич Ю.В. Контактные явления в металлических расплавах. – Киев: Наук. думка, 1972. – 196 с.

Одержано 02.03.09

В.А. Середенко, Е.В. Середенко

Изготовление сплавов алюминия с активными элементами в магнитодинамической печи

Резюме

Рассмотрены особенности приготовления жидких сплавов алюминия, содержащих активные элементы магнитодинамической печи. Определены параметры получения сплавов AlCe, AlMg, AlSiMg, AlSiCa. Установлены зоны преимущественного влияния электромагнитных полей индуктора и электромагнита на пропитывание металлом огнеупора канала печи и определены условия снижения металлизации футеровки.

V.A. Seredenko, E.V. Seredenko

Penetration of aluminium alloys with active elements in to the magnetodynamic furnace

Summary

Peculiarities of interaction between aluminium liquid alloys containing active elements and a lining of magnetodynamic furnace were concerned. The parameters of receipt of alloys of AlCe, AlMg, AlSiMg, AlSiCa are certain. Zones of primary action of electromagnetic fields of inductor and electromagnet on metal infiltration into furnace canal were established. Condition of liner metallization reducing were determined.