

ОБРОБКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ГАЗОРЕАГЕНТНИМИ СЕРЕДОВИЩАМИ

Анотація. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження гідроаеродинамічних, тепломасообмінних та фізико-хімічних процесів в розплавах при глибокій взаємодії їх з плазмореагентними середовищами.

Встановлено, що при зменшенні розмірів мікрогруповань у розплаві в 2 – 2,5 рази збільшується межа міцності на розрив литого металу на 25 – 30 %, відносно подовження – у 1,7 – 1,8 рази; в реакційній зоні заглибленого плазмового струменя температура металу на 400 – 600 К вище (при продувці холодним газом – на 150 К менше), ніж середньомасова температура алюмінієвого розплаву. При охолодженні нагрітого у плазмотроні газу до середньомасової температури розмір пухирців зменшуються на 25 – 40 %. В результаті цього скорочується у 2 рази та більше час оновлення прикордонного шару на нагрітому газовому пухирці в порівнянні з холодним.

Результати можуть бути рекомендовані для використання при розробці технології плазмового переплаву алюмінієвих сплавів газореагентними сумішами. Ключові слова. Плазма, алюміній, міцність, масообмін, неметалеві включення, температура, метал, піч.

Аннотация. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования гидроаэродинамических, тепломассообменных и физико-химических процессов в расплавах при глубоком взаимодействии их с плазмореагентными средами.

Установлено, что при уменьшении размеров микрогруппировок в расплаве в 2 – 2,5 раза увеличивается граница прочности на разрыв литого металла на 25 – 30 %, относительное удлинение – в 1,7 – 1,8 раза; в реакционной зоне углубленной плазменной струи температура металла на 400 – 600 К выше (при продувке холодным газом – на 150 К меньше), чем среднemasовая температура алюминиевого расплава. При охлаждении нагретого в плазмотроне газа до среднemasовой температуры размер пузырьков уменьшается на 25 – 40 %. В результате этого сокращается в 2 и более время обновления пограничного слоя на нагретом газовом пузырьке по сравнению с холодным.

Результаты могут быть рекомендованы для использования при разработке технологии плазменного переплава алюминиевых сплавов газореагентными смесями.

Ключевые слова. Плазма, алюминий, прочность, массообмен, неметаллические включения, температура, металл, печь.

Abstract. There were made the theoretical and experimental researches of hydro- and aerodynamic processes, heat and mass transfer, physical and chemical processes in melts during their reaction with plasm environment.

It was determined that decrease of the size of melted microgroups by 2 – 2,5 times increases tension strength of cast metal by 25 – 30 %, length – by 1,7–1,8 times; in the reaction zone of sunk plasma jet the temperature of metal is by 400–600 K higher (during the cold gas blowing – by 150 K lower) than average temperature of melted aluminum. During the cooling of heated plasm gas down to average temperature the bubble sizes decrease by 25 – 40 %. As a result, the time of renewal of the boundary layer on the heated gas bubbles compared to the cold is reduced by 2 or more times.

The results can be recommended for use in developing the technologies of aluminum alloys plasm melting using gas-reagent environment.

Keywords. Temperature of plasma, aluminum, metal oven, durability, mass transfer, non-metallic inclusions.

Вступ

Існуючі способи лиття сплавів дозволяють отримати вилівки з мінімальною металоємністю, виготовлення яких механічною обробкою є неекономним, а у ряді випадків практично неможливе. Цим визначається значний ріст виготовлення

виливків з кольорових сплавів. Разом з цим підвищуються вимоги щодо їх якості, які залежать від концентрації газів та шкідливих домішок у металі, що знижують механічні і експлуатаційні характеристики виробів. Якісні литі вироби можуть бути отримані за рахунок використання найбільш ефективних способів позапічної обробки рідкого металу, які дозволяють інтенсифікувати його з газовими, рідкими та твердими реагентами. Використання плазмового нагріву дозволяє відкрити нові процеси рафінування та модифікування сплавів шляхом обробки розплаву високотемпературними газами та активними реагентами.

Базуючись на аналізі літературних даних, визначили напрям досліджень, пов'язаний з створенням нових універсальних технологій позапічної обробки кольорових сплавів, що не мають недоліків та поєднують переваги існуючих процесів – нагрів і рафінування розплаву, дозований ввід і найбільш повне використання реакційної здатності реагентів [1, 2].

В області наукових досліджень та практичного досвіду є розробки, що склалися у вказаній постановці задачі. Недостатність отриманих рішень пояснюється в одних випадках відсутністю поєднання економічності та інтенсивності технологічних процесів, у інших – використанням коштовних способів підвищення якості сплавів, що ускладнює їх ефективне використання у масовому та серійному виробництві литого металу.

Наукова новизна

– науково обґрунтований новий високоекономічний спосіб обробки сплавів заглибленим у металевий розплав плазмовим струменем, встановлені основні параметри та технологічні режими процесу;

– досліджені структура та гідродинамічні параметри зони впровадження плазмового струменя, що заглиблюється у розплав. Встановлено, що зона взаємодії плазмового струменя з розплавом складається з 3 ділянок: основної, емульсійної та зворотного потоку. При однакових режимах продувки глибина проникнення плазмового струменя, поверхня та об'єм створених газових пухирців в її зоні у 2 – 3 рази більші у порівнянні з холодним струменем;

– визначені електричні та теплові параметри роботи заглибленого у рідкий метал плазмотрона, встановлені залежності температури та швидкості витоків струменя від витрат газу у ньому;

– показано, що в реакційній зоні заглибленого плазмового струменя, поряд з термічною обробкою розплаву, можливе випаровування практично всіх компонентів алюмінієвих сплавів з наступним швидким охолодженням („конденсацією”) парів до середньомасової температури металу;

– встановлено, що під високотемпературною дією плазмового струменя змінюються розміри первинно кристалізуємих фаз та евтектик, інтерметалідів та оксидних включень у сплаві, а також масштаби мікро неоднорідностей у розплаві. При зменшенні розмірів мікрогруп у розплаві в 2 – 2,5 рази збільшується межа міцності на розрив литого металу 25 – 30 %, відносно подовження – у 1,7 – 1,8 рази.

Дослідження та його результати

Розроблений спосіб комбінованої обробки алюмінієвих сплавів шляхом продувки розплаву холодним або високотемпературним газом у вакуумі [3]. В залежності від вимог до якості литого металу такий технологічний процес дозволяє рафінувати сплави шляхом різних впливів на розплав:

- вакуумування (залишковий тиск ≤ 10 кПа);
- продувкою холодним чи плазмовим струменем в поєднанні з вакуумуванням;
- заглибленим плазмовим струменем при атмосферному тиску.

При відкритому доступі інертного газу включають плазмотрон та занурюють його разом із вакуумною камерою в розплав на задану глибину. Занурення та вилучення з металу рафінуючого вузла установки виконують за допомогою

поворотного механізму переміщення, який може мати ручний або електричний привід. Потім вмикають вакуумний насос чи подають стиснуте повітря на ежектор та створюють в камері розрідження. Під дією розрідження розплав у камері підіймається на деяку висоту, яка залежить від величини залишкового тиску. Розплав між камерою та стінками тигля забезпечує герметизацію камери при вакуумуванні.

Розміщення сопла плазмотрона (фурми) нижче камери та її діаметр вибрали так, що всі пухирці газу при продувці розплаву поступають у камеру. В цьому випадку поверхня розплаву між камерою та стінками ковша чи тигля знаходиться в спокійному стані. Утворена на цій поверхні оксидна плівка (наведений шар покривного флюсу) перешкоджає потраплянню у розплав водню з атмосфери. Разова порція необхідних реагентів загрузається у дозатор попередньо та подається у камеру під час обробки розплаву.

Для оцінки ефективності нової технології алюмінієвий сплав АК7 обробляли впродовж 15 хв. По чотирьом режимах продувки розплаву: холодним аргонем; холодним аргонем у вакуумі (залишковий тиск до 5 КПа); заглибленим у розплав плазмовим струменем в нормальних умовах та при вакуумуванні. В процесі обробки та після рафінування сплаву по вказаним режимам визначали газовміст в розплаві за допомогою термічного аналізу та відливали зразки для механічних випробувань. Результати термічного аналізу дають повну інформацію про параметри кристалізації фаз у сплавах, хімічний склад розплаву, міцнісні характеристики металу та ін. Міцнісні характеристики сплаву, обробленого плазмовим струменем, вище у порівнянні з рафінованим холодним газом. Це обумовлено структурними змінами в сплаві при високотемпературній дії на розплав (рис. 1).

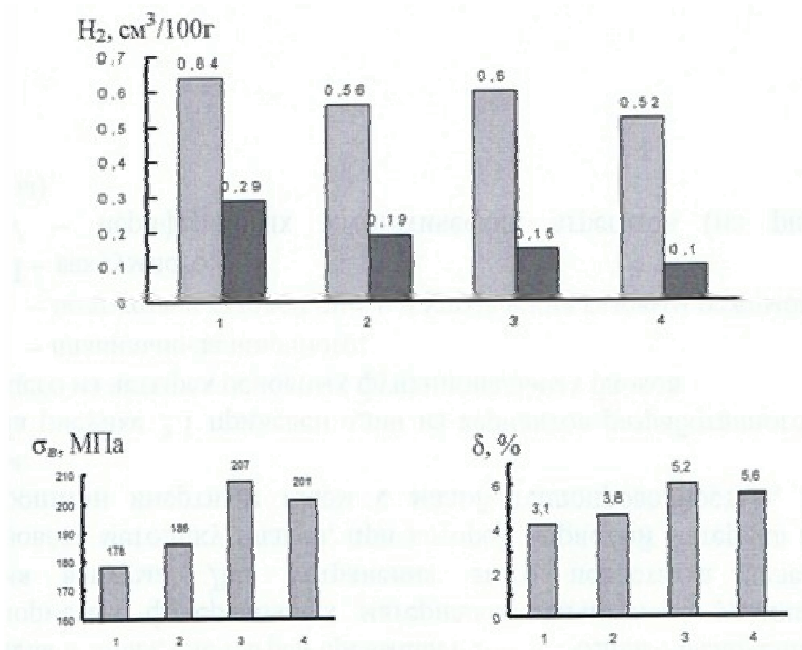


Рисунок 1 – Газовміст та фізико-механічні властивості виливків із сплаву АК7 після обробки розплаву:

- 1 – холодним аргонем; 2 – холодним аргонем під вакуумом ($P_{\text{зал.}} = 5$ КПа);
- 3 – плазмовим струменем; 4 – плазмовим струменем під вакуумом ($P_{\text{зал.}} = 3$ КПа)

Створення низького вакууму (залишковий тиск до 3 КПа) над розплавом при продувці його плазмовим струменем дозволяє збільшити ступінь дегазації сплаву до 80 % та більше. Межа міцності сплаву на розтяг при цьому підвищується на 11 – 12 %, пластичність на 40 – 45 %. Приведені дані свідчать про високу ефективність способу вакуумплазмового рафінування сплавів при простому конструктивному його виконанні.

Для більш глибокого рафінування сплавів з максимальним використанням плазмової дії на розплав розроблений спосіб струйно-крапельного вакуумування металу.

Рафінувальний вузол з ввімкненим плазмотроном (фурмою) занурюють у розплав та створюють розрідження у камері. Під дією розрідження рідкий метал підіймають в камері на висоту, при якій його поверхня знаходиться нижче диску з отворами диспергатора). Розплав транспортується нагрітим в плазмотроні газом по газліфтній колоні і з неї через зливні вікна поступає на диск з отворами. З диску вакуумуємий розплав у вигляді крапель стікає в камеру і з неї назад у ківш. Швидкість обробки рідкого металу регулюють витратами плазмоутворюючого газу та величиною залишкового тиску у камері. При струменево – крапельному вакуумуванні значно збільшуються швидкості дегазації розплаву та досягається високий ступінь рафінування сплавів.

Перспективним являється використання заглиблених плазмових струменів у пристроях безперервної дії, де обмежений час взаємодії розплаву з газореагентними середовищами. Безперервно обробляти сплави плазмовим струменем з регульованою подачею металу на заливку можна за допомогою магнітодинамічних установок. Тому визначили ефективність плазмового рафінування сплаву АЛ9 при різних режимах роботи установки МДН-6А.

Обробку металу по вказаним варіантам проводили впродовж 10 хв. При потужності, що підводиться до плазмотрону, 16 кВт та витратах аргону в межах 4,0 – 4,5 л/хв. Ефективність процесу рафінування сплаву та його міцнісні характеристики представлені у табл. 1.

Найвища ефективність рафінування сплаву досягається при розміщенні плазмотрона над центральним каналом та роботі установки у режимі всмоктування. При такому варіанті обробки пухирці нагрітого газу захоплюються потоком металу в центральний канал та виносяться через бокові. В результаті цього збільшується час перебування газових пухирців у розплаві.

Досліди показали, що при всіх варіантах обробки поверхневий шар ванни товщиною 0,05 – 0,06 м містить підвищену концентрацію оксидів. Тому плазмореагентну обробку сплавів необхідно проводити при такому русі розплаву в установці, коли виключається перемішування поверхневих шарів з усім об'ємом ванни. Саме заміщенням у розплав поверхневих оксидів можна пояснити низький ефект рафінування сплаву.

Обробка розплаву плазмовим струменем забезпечує такий самий ефект рафінування сплаву, як і перший варіант. При циркуляції металу по боковим каналам не порушується оксидна плівка на поверхні ванни та достатньо ефективно проходить очистка розплаву від водню та оксидів.

За цим режимом можна рафінувати розплави у безперервному режимі з подачею на позицію заливки з регульованими витратами.

Таблиця 1

Ефективність плазмового рафінування розплаву у магнітодинамічній установці

Режими обробки металу	Витримка, хв.	[Н], см ³ /100 г	[Al ₂ O ₃], мас. %	σ _в , Мпа	δ, %
Без обробки	–	0,75	0,068	163	1,3
Всмоктування через центральний канал	10	0,32	0,037	175	1,8
	20	0,15	0,024	195	3,4
Нагнітання ³ центрального каналу	20	0,37	0,004	172	1,5
	20	0,26	0,031	182	1,9
Циркуляція металу через бокові канали	10	0,39	0,042	167	1,6
	20	0,19	0,028	190	3,0

При виконанні дослідів розробили спосіб рафінування сплавів, який дозволяє обробляти плазмовим струменем практично всю масу металу з регульованою подачею його у високотемпературну зону. Такий спосіб, наряду з рафінуванням, дозволяє зруйнувати плазмовим струменем мікрогруповування та інтерметаліди у розплаві. В результаті цього зменшується негативний вплив спадковості на властивості ливарних сплавів.

Були проведені дослідження температурного стану розплаву при його обробці заглибленим плазмовим струменем. При цьому алюмінієвий сплав АК7 продували аргоном через плазмотрон потужністю 16 кВт при витратах газу 0,6 м³/год. Розплав обробляли в печі опору з тиглем місткістю 80 кг.

Температуру плазмового струменя поблизу сопла визначили експериментально шляхом розплавлення циліндричного зразка ($\Phi=3\cdot 10^{-3}$ м) з карбиду титану з відомою температурою плавлення 3530 К. На різній відстані від сопла плазмотрона, що працює при таких самих енергетичних параметрах, розміщали фіксований у титановій трубці зразок. Установили, що на відстані не менше $(10 - 11)\cdot 10^{-3}$ м від сопла дослідний матеріал розплавляється плазмовим струменем. При віддаленні карбиду титана від сопла на більші відстані він не плавиться, а виникає там лише часткова сублімація вуглецю зі зразка. Ці експериментальні дані дозволили визначити температурний стан розплаву в реакційній зоні плазмового струменя.

Температура розплаву в реакційній зоні по мірі наближення до сопла плазмотрона підвищується і на виході газу з реакційної зони досягає 5000 К. Відомо, що випаровування алюмінію виникає при температурі вище 2700 К, міді – 2820 К, марганцю – 2820 К, магнію – 1360 К, цинку – 1180 К. Ці компоненти в різній кількості містяться в алюмінієвих сплавах систем Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, Al-Mg. Виходячи з цього, слідує прогнозувати можливість значних змін в будові розплаву, обумовлених випаровуванням компонентів сплаву у високотемпературній зоні плазмового струменя з наступною конденсацією парів при видаленні з цієї зони.

Отримані дані про температурний стан металу дозволили визначити об'єми в зоні введення плазмового струменя, де можливе випаровування алюмінію та інших компонентів сплаву. Частина цих об'ємів зайнята розплавом, інша – інертним газом. Між масою розплаву і кількістю газу у високотемпературному об'ємі можуть бути різні співвідношення, що залежать від режиму роботи плазмотрона, природи плазмоутворюючого газу, складу сплаву та ін.

Вспливаючі з нагрітого об'єму пухирці газу визивають горизонтальне і вертикальне зміщення сусідніх шарів розплаву. Об'єм розплаву, що поступив з нижніх шарів, миттєво компенсується рівним йому об'ємом з верхніх шарів. Таким чином в реакційній зоні заглибленого плазмового струменя відбувається постійне оновлення високотемпературного об'єму розплаву на менш холодний, який потім також нагрівається до температур випаровування компонентів сплаву. При цьому верхні шари нагрітого розплаву виносяться зворотнім потоком з реакційної зони струменя швидше в порівнянні з нижніми.

Для оцінки процесу випаровування прийняли по даним фізичного моделювання швидкість зворотного потоку струменя 0,4 м/с. За середній шлях переміщення нагрітих шарів розплаву в зворотному потоці прийняли 0,5 діаметра високотемпературного об'єму в реакційній зоні струменя і оцінили час, протягом якого компоненти сплаву в ньому випаровуються.

Приведені дані свідчать, що за хвилину плазмового впливу на розплав може випаруватися приблизно 0,18 – 2,0 кг компонентів сплаву. В реальних умовах маса випаруваного металу буде більшою, оскільки промислові сплави вміщують не враховані в розрахунку компоненти (Fe, Ni, Ti), а також домішки (Na, Ca, Pb та ін.) з меншою температурою випаровування в порівнянні з досліджуваними.

Із збільшенням потужності плазмотрона кількість випаруваного металу за час обробки сплаву буде також підвищуватися. Утворені пари металів частково поступають у газові пухирці і разом з ними виносяться з реакційної зони струменя в периферійний об'єм ванни. Пари, що залишилися, поступають у розплав і охолоджуються до його середньомасової температури („конденсуються”). За рахунок дроблення газових пухирців чи злиття їх у більші, пари металів з них також поступають у розплав і охолоджуються. При охолодженні парів у розплаві утворюються частинки „конденсату” та мікрооб'єми, які в залежності від критичних розмірів, інтенсифікують процес зародкоутворення для різних компонентів сплаву, і подібно до оксидних включень, – для газових пухирців водню. Інші мікрооб'єми можуть знаходитися у розплаві деякий час у вигляді кластерів з великою кількістю активованих атомів. В процесі конденсації парів металу виділяється теплота фазового переходу, яка збільшує час існування активованих атомів. Такі зміни у будові розплаву, що відбуваються при глибинній обробці плазмореагентним струменем, впливають на структуру і міцнісні характеристики вилівка.

Для умов експерименту розрахували масу випареного металу в досліджуваному сплаві з вмістом, мас. % (Si – 6,4; Cu – 1,45; Mg – 0,31; Zn – 0,65; Mn – 0,24; Fe – 0,58; Ni + Ti ≤ 0,08; Al – інше), яка представлена у таблиці 2.

Таблиця 2

Швидкість випаровування компонентів сплаву АК7 при обробці розплаву плазмовим струменем

Компоненти розплаву	Концентрація у сплаві, мас. %	Густина розплавленого компоненту, кг/м ³	Температура випаровування, К	Час випаровування, с	Об'єм випаровування $\Delta V \cdot 10^{-6}$, м ³	Маса випаруваного компоненту, кг/хв.
Алюміній	90,3	2370	2700	0,05	24,4	0,156
Кремній	6,4	2500	2620	0,057	33,4	0,018
Мідь	1,45	7900	2820	0,04	17,12	0,0046
Магній	0,31	1700	1360	0,14	90,4	0,004
Цинк	0,65	6600	1180	0,18	123,3	0,0066
Марганець	0,24	7000	2370	0,07	43,7	0,003

Промислова перевірка нових технологічних процесів виконана на алюмінієвих сплавах, в яких погрузні не охолоджені плазмотрони працюють надійно та довгий час. Дослідження якості металу показало, що після глибинної обробки алюмінієвих сплавів плазмовим струменем кількість неметалевих включень у них знижується більше, ніж вдвічі, а ступінь дегазації розплаву при цьому перевищує 70 %. В результаті цього підвищуються експлуатаційні характеристики сплавів, практично повністю ліквідується брак вилівок по газовій пористості, скорочується та виключається застосування флюсів та інших реагентів на обробку розплавів, покращуються умови праці. Дані по впливу холодної та високотемпературної газової обробки розплавів на якість литого металу представлені у таблиці 3.

До обробки розплав має вміст водню $0,75 \text{ см}^3$ у 100 грамах розплаву. Під час всмоктування металу через центральний канал за 10 хвилин значення його зменшується до 0,32. При нагнітанні розплаву з центрального каналу також через період часу 10 хвилин значення стає більшим у порівнянні з попереднім методом та становить $0,37 \text{ см}^3$ у 100 грамах. Коли метал циркулюється через бокові канали, значення вмісту водню зменшується до $0,39 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ [4].

Вміст неметалевих включень при цих видах обробки змінюється пропорційно вмісту водню: без обробки вміст неметалевих включень був 0,068 %, при всмоктуванні через центральний канал – 0,037, при нагнітанні з центрального каналу – 0,04, а при циркуляції металу через бокові канали – 0,042 %.

Таблиця 3

Якісні характеристики виливків з алюмінієвих сплавів, оброблених заглибленим у розплав плазмовим струменем

Сплав	Спосіб обробки	Механічні властивості		Вміст	
		σ_b , МПа	δ , %	[H], $\text{см}^3/100\text{г}$	[Al ₂ O ₃], мас. %
АК7	Вихідний	176	3,4	0,62	0,046
	Холодний	192	3,7	0,39	0,028
	Плазмовий	220	5,5	0,18	0,020
АК8М	Вихідний	173	1,4	0,48	0,034
	Плазмовий	190	2,6	0,16	0,015
АК12	Вихідний	162	2,0	0,62	0,048
	Холодний	168	2,5	0,36	0,031
	Плазмовий	175	3,2	0,18	0,018

Досліджували також міцність на розрив та відносне подовження зразків з алюмінієвого сплаву АК7, механічні характеристики змінюються пропорційно одна одній. Найбільші значення досягаються при всмоктуванні через центральний канал (175 МПа; 1,8% відповідно), а найменші значення при циркуляції металу через бокові канали: міцність 167 МПа та відносне подовження 1,6%. Вихідними були значення 163 МПа та 1,3 % відповідно.

При обробці сплаву АК7 заглибленим плазмовим струменем ми розглядали ці ж самі характеристики, але показники виявились кращими [4]. У вихідному металі міцність та розрив була 176 МПа, відносне подовження 3,4%, вміст водню $0,62 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ та вміст неметалевих включень 0,046 %. При холодній обробці міцність збільшилась до 192 МПа, а при плазмовій аж до 220 МПа. Найвищі показники механічних властивостей були виявлені саме при плазмовій обробці сплаву.

Висновки

1. Установлено, що при глибинній обробці розплаву плазмовим струменем масообмінні процеси у ванні рідкого металу протікають на 25 – 70 % інтенсивніше, ніж при продувці холодним газом.

2. В зоні поверхневого нагріву плазмою температура металу досягає 3000 – 3500 К при середньомасовій його температурі у ванні 1870 – 1890 К. При таких температурних градієнтах у ванні виникають конвективні потоки, що перемішують розплав в процесі нагріву. В зоні заглибленого плазмового струменя температура металу на 400 – 600 К перевищує середньомасову. Однак температурні градієнти, на відміну від поверхневого нагріву, при цьому у розплаві відсутні, що свідчить про ефективне перемішування ванни плазмовим струменем.

Показано, що температурний стан сплаву, що впливає на інтенсивність протікання фізико-хімічних процесів у розплавах, у реакційній зоні плазмового струменя на 800 град перевищує температуру металу у зоні витікання холодного аргону.

3. При охолодженні пухирців нагрітого плазмовим струменем газу до середньомасової температури алюмінієвого розплаву їх радіуси за 0,2 – 0,4 мс зменшуються на 25 – 40 %. В результаті цього скорочується у 1,5 – 2,5 рази час оновлення прикордонного шару у газовому пухирці.

4. Промислове освоєння розроблених технологій показало, що плазмореагентна обробка алюмінієвих сплавів дозволяє: нагрівати розплав в процесі рафінування; знизити у виливках вміст водню на 70 – 80 %, неметалевих включень – в 2 – 2,3 рази; збільшити межу міцності на розрив литого металу на 14 – 26 %, відносне подовження – на 35 – 54 %; зменшити брак виливків на 20 – 30 % та скоротити витрати на виробництво.

5. Вивчена кінетика видалення водню із алюмінієвих сплавів і встановлено, що найбільшу ($\geq 80\%$) ступінь їх дегазації забезпечує глибинна обробка розплаву в поєднанні з рідкими або реагентами, що випаровуються. Висока ефективність плазмореагентного рафінування сплавів обумовлена більш розвинутою міжфазною поверхнею і підвищеною швидкістю масопереносу водню і високотемпературній зоні плазмового струменя. При плазмовій обробці сплавів також збільшується масоперенос водню через міжфазну поверхню за рахунок скорочення часу оновлення пограничного шару на газових бульбашках при миттєвій зміні їх об'ємів в період охолодження до температури рідкого металу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Найдек В.Л., Технологии рафинирования алюминиевых сплавов плазменными газореагентными средами / В.Л. Найдек, А.В. Наривский, А.А. Федоров // Металл и литье Украины.- 2004,- №1.- С. 16-18.
2. Найдек В.Л. Технологический процесс вакуумплазменной обработки металлических расплавов / В.Л. Найдек, А.В. Наривский // Современная спецэлектроталлургия.- 2005.- №1.- С. 33-34.
3. Сергеева К.О., [Електрон. ресурс] Дегазация алюмінієвих розплавів при продувці холодним та плазмовим газовими струменями / Сергеева К.О., Золотухін С.С. // IV Международная научно-практическая Конференция «Литье. Металлургия 2015». – Запорожье. – 22 мая 2015. – 1 CD.
4. Сергеева К.О., [Електрон. ресурс] Технологічні процеси вакуумно-плазмової обробки алюмінієвих сплавів/ Сергеева К.О., Золотухін С.С., С.В. Гришко // VIII Міжнародна конференція молодих учених і спеціалістів «Зварювання та споріднені технології». смт. Ворзель, Київська обл., Україна – 20-22 травня 2015. – 1 CD.