

кого національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2013. – № 4 (81). – С. 126 – 131.

УДК 669.15.018.583

ОБРОБКА АЛЮМІНІЄВИХ РОЗПЛАВІВ ПЛАЗМОВИМ СТРУМЕНЕМ

К.О. Сергєєва, кандидат технічних наук, асистент кафедри фізико-хімічних основ технології металів

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, e-mail: eka_sergeeva@ukr.net

К.В. Жердєв, студент групи ФС-01 кафедри фізико-хімічних основ технології металів

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, e-mail: krestovskiy.cool@gmail.com

Анотація. Визначені енергетичні параметри заглибленого у метал плазмового газового струменя, досліджено фізико-хімічні та масообмінні процеси в розплаві при обробці його газореагентним середовищами.

Ключові слова: метал, плазмотрон, сплав, рафінування, плазмовий струмінь.

PROCESSING OF ALUMINUM MELT OF PLASMA JETS

K. Sergeieva, Candidate of Science, assistant Department of Physical and Chemical Fundamentals of Metals Technology

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, e-mail: eka_sergeeva@ukr.net

K. Zherdiev, Student FS – 01 Department of Physical and Chemical Fundamentals of Metals Technology

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, e-mail: krestovskiy.cool@gmail.com

Abstract. The identified energy parameters absorbed in metal plasma gas jet investigated physico-chemical and mass transfer processes in the melt when processing it environments.

Keywords: metal, plasma torch, alloy refining, the plasma jet.

Вступ. Неможливість ефективної обробки всього об'єму рідкого металу у багатотонному агрегаті призвела до необхідності безперервного процесу позапічного рафінування розплаву у невеликих установках. Разом з цим безперервність процесу накладає додаткові вимоги на організацію масопереносу газів і шкідливих домішок із розплаву у рафінуючу фазу. Це

обумовлено значним скороченням часу взаємодії розплаву з рафінуючими реагентами при проходженні його через установки. І для ефективної очистки сплавів від газів та неметалевих включень обробку металу потрібно вести достатньо інтенсивно.

Головною перевагою глибинної обробки сплавів плазмовим струменем, в порівнянні з іншими технологіями, є можливість одночасного інтенсивного перемішування ванни нагрітим газом та регулюванням перегріву розплаву при обробці сплаву. Значний перегрів сплавів в реакційній зоні плазмового струменя при інтенсивному їх перемішуванні повинні забезпечувати швидке руйнування мікрогруповань і скорочення часу переходу розплаву в однорідний стан в порівнянні зі звичайною термічною обробкою.

Мета досліджень. Виконати теоретичні та експериментальні дослідження гідроаеродинамічних, тепломасообмінних та фізико-хімічних процесів в розплавах при глибинній взаємодії їх з плазмореагентними середовищами.

Матеріал та результати досліджень. Створені конструкції плазмових установок, які дозволяють виконувати глибинну обробку металевих розплавів газом, рідкими і твердими реагентами. В якості плазмотворючого газу використовують аргон, азот чи їх суміш. Створені установки дозволяють підтримувати в заданих межах чи перегрівати розплав в процесі обробки; ефективно рафінувати і модифікувати метал; скорочувати витрати реагентів на обробку сплавів; підвищувати вихід якісних виливків та суттєво покращувати екологічний стан у цеху.

Для обробки металевих розплавів у ковші чи печі ємністю до 0,5 т використовується установка, основними вузлами якої являються погрузний плазмотрон з поворотним механізмом його переміщення. Плазмотрон кріпиться до вільного кінця консольного важеля. За допомогою системи тяг та пари гвинт-гайка важіль переміщується по вертикалі відносно нерухомого його кінця, який закріплений до колони. Цим самим забезпечується переміщення плазмотрона у вертикальній площині. Гвинт обертається мотор-редуктором МВР-0,2-0,75/280, який забезпечує швидкість переміщення плазмотрона до 2,5 м/хв.

Електрична схема забезпечує роботу установки в автоматичному та ручному режимах. Керування роботою установки відбувається з закріпленого на стойці пульта, на який винесені прилади та світлова сигналізація технологічного процесу. У схемі передбачене блокування включення плазмотрона при відсутності подачі плазмотворючого газу. Джерелом живлення плазмотрона слугує випрямляч типу ВДУ 506-У3 чи аналогічний з на-

пругою холостого ходу не менше 80 В і падаючою вольтамеперною характеристикою. [1]

Система подачі плазмоутворюючого газу складається з рампи з балонами, вологовідокремлювача, ротаметра, регулюючого вентиля і електричного пневмоклапана. Система газової подачі забезпечує регулювання витрат плазмоутворюючого газу в межах 0,3 – 1,0 м³/год.

Плазмова установка може монтуватися безпосередньо біля роздаткової чи плавильної печі, для обробки металу в ковші – зручній для обслуговування ділянці ливарного цеху. Необхідна площа для розміщення установки не перевищує 1 м².

Технологія отримання із сплаву литих виробів включає 3 етапи:

- обробку розплаву рафінуючо- модифікованим флюсом в кількості 0,1 – 0,15 % від маси металу;
- вакуумування розплаву в роздатковій печі опору 20 – 25 хвилин;
- термічну обробку виливок по режиму Т6.

Після заміни двох перших етапів плазмовою обробкою розплаву відносне видовження у виливках збільшилась у 1,4 – 1,6 рази, а міцнісні характеристики до рівня вакуумованого металу. Нова технологія наряді з підвищенням якості металу дозволила спростити процес виготовлення виливків і збільшити його виробництво, скоротити у 2 рази витрати флюсів на обробку.

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 карбїду 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 карбїду титану від сопла на більшій відстані він не плавиться, а виникає там лише часткова сублимація вуглецю зі зразка. Ці експериментальні дані дозволили визначити температурний стан розплаву в реакційній зоні плазмового струменя. [2]

Температура розплаву в реакційній зоні по мірі наближення до сопла плазмотрона підвищується і на виході газу з прикатодної 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 викликають 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. [3]

Для оцінки процесу випаровування прийняли по даним фізичного моделювання прийняли 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. Визначили наближену масу випаруваних компонентів сплаву в одиницю часу з рівняння:

$$G = \Delta V \cdot \rho / \tau, \quad (1)$$

де ΔV – об'єм випаровування, м³,

ρ – густина розплавленого металу, кг/м³

τ – час випаровування компонента, с.

Для умов експерименту розраховали 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 табл. 1:

Таблиця 1. – Швидкість випаровування компонентів сплаву АК7 при обробці розплаву плазмовим струменем

Компоненти розплаву	Концентрація у сплаві, мас.%	Густина розплавленого компоненту, кг/м ³	Температура випарування, К	Час випаровування, с	Об'єм випаровування $\Delta V \cdot 10^{-6}$, м ³	Маса випарованого компоненту, кг/зв
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

Приведені дані свідчать, що за хвилину плазмового впливу на розплав може випаруватися приблизно 0,18 - 2,0 кг компонентів сплаву. В реальних умовах маса випарованого 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 випарованого 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 в мікрогрупованнях. Такі зміни у будові розплаву, що відбуваються при глибокій обробці плазмореагентним струменем, впливають на структуру і міцнісні характеристики виливка.

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

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 град перевищує середньомасову.

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 межового шару у газовому пухирці.

Промислове освоєння розроблених технологій показало, що плазморреагентна 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глибинна обробка алюмінієвого розплаву плазмовим струменем / К.О.Сергеева, В.М. Лавренко, Р.Ю Добров, О.В. Кілікєєв //Vedecke myslene inflacniho stoleti – 2008. – С. 32 – 35.
2. Рафинирование алюминия заглубленной в расплав высокотемпературной газовой струей/ В.Л Найдек., А.В. Наривский, Н.С. Ганжа, Ю.Д. Останин – Цветные металлы.- 1988. – №9. – С. 54 – 55.
3. Наривский А.В. Влияние плазмореагентной обработки расплава на микроструктуру и прочностные характеристики алюминиевых сплавов // Процессы литья. – 1997. – №2. – С. 21 – 25.

УДК 669:628.16.06

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В РУЛОННОМ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОМ МОДУЛЕ

А. Н. Тумин, аспирант кафедры прикладной гидромеханики
Государственное высшее учебное заведение «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск, Украина, e-mail: a_tumin@mail.ru

Аннотация: При выборе типа мембранного модуля для условий очистки воды посредством мембранных технологий большое значение имеют гидродинамические ха-