DOI: https://doi.org/10.15407/techned2018.04 . 118

УДК 621.74:537.84

РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ РІДКОГО МЕТАЛУ В ГАРНІСАЖНОМУ ТИГЛІ ПРИ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІЙ ПЛАВЦІ

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавник	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 4, 2018 (липень/серпень)
Сторінки	118 – 126

Автори

Ю.М. Гориславець[1*], докт.техн.наук, **С.В. Ладохін**[2], докт.техн.наук, **О.І. Глухенький**[1**], канд.техн.наук,
Т.В. Лапшук[2], **О.І. Бондар**[1], **Є.О. Дрозд**[2]

[1] – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,
e-mail: gai56@ied.org.ua
[2] – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,
бул. Вернадського, 34/1, Київ, 03142, Україна,
e-mail: e_luch@ptima.kiev.ua
* ORCID ID : http://orcid.org/0000-0003-1668-4972
** ORCID ID : http://orcid.org/0000-0001-5053-5677

Представлено особливості технології електронно-променевого гарнісажного плавлення тугоплавких металів та сплавів. Сформульовано її переваги та недоліки. Одним з основних напрямків подальшого розвитку визнано підвищення максимального об'єму розплаву в гарнісажному тиглі. Обґрунтовано необхідність проведення математичного моделювання мультифізичних процесів з метою раціонального вибору конструкції гарнісажного тигля з системою електромагнітного перемішування, що забезпечує одержання до 150 кг розплаву титану за одну плавку. Зокрема, розглянуто питання вибору конструкції та режимів роботи системи електромагнітного перемішування з акцентом на особливостях її роботи на початковому етапі накопичення розплаву. Наведено методику чисельного тривимірного моделювання електромагнітного поля і гідродинаміки в системі "індуктор – гарнісажний тигель". Електромагнітна задача сформульована відносно векторного магнітного та скалярного електричного потенціалів, гідродинамічна – у вигляді рівнянь Нав'є-Стокса з використанням низькорейнольдсової k-ε моделі турбулентності. Серед факторів, що визначають ефективність електромагнітного перемішувача, розглядалися: кількість котушок індуктора, кут зсуву фаз між струмами сусідніх котушок, напрям біжучого магнітного поля, частота живлення. Електромагнітна та гідродинамічна задачі розраховувалися для п'яти положень границі між розплавом та гарнісажем, які відповідають послідовним етапам плавки з поступово збільшеним об'ємом розплаву в тиглі. Розглядалися індуктори з двома, трьома та шістьма котушками. При порівнянні варіантів за критерій ефективності перемішування приймалася середня швидкість руху в об'ємі розплаву. Представлено результати розрахункового дослідження, запропоновано алгоритм роботи системи електромагнітного перемішування. Бібл. 9, рис. 8.

Ключові слова: електронно-променеве плавлення, гарнісажний тигель, система електромагнітного перемішування, математичне моделювання електромагнітних та гідродинамічних процесів.

Надійшла 01.11.2017
Остаточний варіант 04.12.2017
Підписано до друку

УДК 621.74:537.84

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ГАРНИСАЖНОМ ТИГЛЕ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКЕ

Журнал	Технічна електродинаміка
Издатель	Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 4, 2018 (июль/август)
Страницы	118 – 126

Авторы

Ю.М. Гориславец[1], докт.техн.наук, **С.В. Ладохин**[2], докт.техн.наук, **А.И. Глухенький**[1], канд.техн.наук,
Т.В. Лапшук
[2]
, А.И. Бондарь
[1]
, Е.А. Дрозд
[2]

[1] – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,
e-mail: gai56@ied.org.ua
[2] – Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
бул. Вернадского, 34/1, Киев, 03142, Украина,
e-mail: e_luch@ptima.kiev.ua

Приведена краткая информация по истории и особенностям технологии электронно-лучевой гарнисажной плавки тугоплавких металлов и сплавов. Сформулированы ее преимущества и недостатки. Одним из основных направлений

дальнейшего развития признано повышение максимального объема расплава в гарнисажном тигле. Обоснована необходимость проведения математического моделирования мультифизических процессов с целью рационального выбора конструкции гарнисажного тигля с системой электромагнитного перемешивания, которая обеспечивает получение до 150 кг расплава титана за одну плавку. В частности, рассмотрены вопросы выбора конструкции и режимов работы системы электромагнитного перемешивания с акцентом на особенностях ее работы на начальном этапе накопления расплава. Приведена методика численного трехмерного моделирования электромагнитного поля и гидродинамики в системе "индуктор - гарнисажный тигель". Электромагнитная задача сформулирована относительно векторного магнитного и скалярного электрического потенциалов, гидродинамическая – в виде уравнений Навье-Стокса с использованием низкорейнольдсной k-ε модели турбулентности. Среди факторов, определяющих эффективность электромагнитного перемешивателя, рассматривались: количество катушек индуктора, угол сдвига фаз между токами соседних катушек, направление бегущего магнитного поля, частота питания. Электромагнитная и гидродинамическая задачи рассчитывались для пяти положений границы между расплавом и гарнисажем, которые соответствуют последовательным этапам плавки с постепенно увеличенным объемом расплава в тигле. Рассматривались индукторы с двумя, тремя и шестью катушками. При сравнении вариантов в качестве критерия эффективности перемешивания принималась средняя скорость движения в объеме расплава. Представлены результаты расчетного исследования, предложен алгоритм работы системы электромагнитного перемешивания. Библ. 9, рис. 8.

Ключевые слова: электронно-лучевая плавка, гарнисажный тигель, система электромагнитного перемешивания, математическое моделирование электромагнитных и гидродинамических процессов.

Поступила 01.11.2017
Окончательный вариант 04.12.2017
Подписано в печать

Література

1. Гладков А.С, Левицкий Н.И., Чернявский В.Б. Особенности выплавки сложнолегированных сплавов на основе титана и циркония в электронно-лучевых литейных гарнисажных установках. Тр. *Междунар. Конф. Ti-2008 в СНГ*, Санкт-Петербург, 18-21 мая 2008. С. 50-53.
2. Глухенький А.И., Гориславец Ю.М., Бондар А.И., Ладохин С.В., Лапшук Т.В., Дрозд Е.А. Моделирование электронно-лучевой плавки титана в гарнисажных тиглях. *Процессы литья* . 2017. № 2. С. 30-38.
3. Глухенький А.И., Гориславец Ю.М., Бондар А.И., Ладохин С.В., Лапшук Т.В., Дрозд Е.А. Выбор конструкции гарнисажных тиглей повышенной емкости для электронно-лучевой плавки титана. *Процессы литья*. 2017. № 4. С. 58-65.
4. Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Ладохин С.В. Анализ МГД-процессов при электромагнитном перемешивании расплавленного металла в секционном токопроводящем кристаллизаторе. Proc. 3rd Intern. Conf. *Inconventional Electromechanical and Electrical System* , Alushta, the Crimea, Ukraine, September 19-21, 1997. Pp. 1193-1200.
5. Ульянов В.Л. Электронно-лучевая гарнисажная плавка при получении фасонных отливок. *Литейное производство*. 1972. № 10. С. 13-15.
6. Шиллер З., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология. М.: Энергия, 1980. 528 с. 7. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве. К.: Сталь, 2007. 626 с.
8. Frei W. Which Turbulence Model Should I Choose for My CFD Application? URL: https://www.comsol.com/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application (Accessed at 28.09.2017)
9. Westerberg K.W., Meier T.C., McClelland M.A. Analysis of the E-Beam Evaporation of Titanium and Ti-6Al-4V. Proc. Conf. *Electron Beam Melting and Refining* – State of the Art 1997, Bakish Materials Corp., Englewood, NJ. Pp. 208-221.

PDF