

динамикой, нежели традиционное литье, сопряжены с работой с большими массами металла, что соответственно обуславливает необходимость применения более мощных и сложных систем электропитания, а вследствие компоновки большого количества технологического оборудования в единый комплекс, система управления также работает по-иному.

Список литературы

1. V. Dubodelov, V. Fikssen, M. Slazhniev et al. Modernization of casting magnetodynamic equipment // Proceedings of the 8th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials EPM2015. – SIMAP Laboratory – EPM Group: 2015, ISBN 978-2-9553861-0-1. – October 12-16, 2015. – Cannes, France. – P. 601-604.

УДК 621.74:537.84

**В. И. Дубоделов, В. А. Середенко, В. Н. Фикссен, М. С. Горюк,
Ю. П. Скоробагатько, К. С. Богдан, А. В. Яценко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

НОВЕЙШЕЕ ЛИТЕЙНОЕ МГД-ОБОРУДОВАНИЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ И ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ НИХ

Получила дальнейшее развитие теория литейных МГД-устройств магнитодинамического типа, в частности, предложена, теоретически и непосредственно на жидких алюминиевых сплавах экспериментально подтверждена концепция существенного повышения электромагнитного давления, создаваемого в жидкометаллических средах модернизированных двухзонных магнитодинамических установок (МДУ) типа МДН-6. Доказано, что это достигается благодаря улучшению условий суперпозиции переменных электрического и магнитного полей, то есть за счет более эффективного перераспределения плотности электрического тока в расплаве и внешнего магнитного поля в рабочей зоне, а также уменьшению влияния неблагоприятных электрических, электромагнитных и гидравлических эффектов, и как следствие – обеспечению последовательного суммирования электромагнитных усилий,

развиваемых в рабочих зонах вдоль транзитного индукционного канала. В результате проведения теоретического анализа, инженерных расчетов, холостых испытаний и натурных экспериментов на жидком алюминиевом сплаве созданного макета новой двухзонной МДУ установлены ее электрические, напорные и расходные характеристики, определены их особенности и отличия от соответствующих характеристик серийной установки МДН-6А. Сравнительный анализ показал, что на макете двухзонной МДУ возможна реализация напора более 2 м алюминиевого расплава (50 кПа), что практически в 2 раза превышает показатели установки МДН-6А, а также обеспечивается повышение расхода металла в 1,5 раза и компенсация негативного воздействия электромагнитных эффектов – т. н. «втягивания» металла в металлопроводе и центральном канале МДУ, что также характерно для серийных установок МДН-6А и ограничивает их возможности по реализации определенных режимов литья. Благодаря разработке и успешной исследовательской проверке концепции повышения электромагнитного давления в магнитодинамических устройствах, созданы надлежащие предпосылки для расширения функциональных возможностей и диапазона технологического применения таких агрегатов, а также для разработки нового поколения МГД-оборудования и сопутствующих металлургических и литейных технологий для получения ответственных деталей высокотехнологичной техники литьем под низким электромагнитным давлением (ЛЭМД – так, впервые этот процесс был успешно реализован при литье в песчано-глинистую форму (т. к. ранее он применялся исключительно для литья в кокиль и металлические пресс-формы)).

Исходя из фундаментальных положений теории жидкого состояния, теоретически обоснован и экспериментально подтвержден эффект комплексного термосилового МГД-воздействия на жидкий металл в магнитодинамических устройствах, которая заключается в нейтрализации при приготовлении сплавов вредного воздействия металлургической наследственности и диспергирования имеющихся в расплаве различных по размеру и составу кластеров и их группировок. Это в дальнейшем приводит к кардинальному изменению условий кристаллизации и проявляется в существенном улучшении структуры (обеспечении субмикросзеренной структуры с тенденцией к наномасштабным преобразованиям) и повышении основных свойств сплавов в твердом состоянии, в частности, росте пластичности доэвтектических силуминов типа АК7 в 2-4 раза по сравнению с требованиями стандартов, что было подтверждено в ходе совместных исследований ФТИМС НАН Украины и серийного завода ГП «Антонов». Применительно к режимам МГД-обработки до- и заэвтектических силуминов в МДУ, были определены рациональные параметры такого воздей-

ствия, а именно: - температура жидкого металла – 750-790 °С; - удельная мощность индукторов – 0,02-0,06 кВт/кг расплава; - мощность электромагнита – 0,02-0,04 кВт/кг расплава; - массовая скорость движения расплава в канале – 0,5-1,0 кг/с; - время обработки – от 15 мин до 1 ч; - частота электродинамической вибрации – 100 Гц; - режим перемешивания расплава в ванне МГУ – развитая турбулентность ($Re \geq 10^4$).

Дальнейшее развитие этих работ состоит в сочетании действия МГД-факторов с влиянием высококонцентрированных тепловых источников (например, плазмы) на металлический расплав как для обеспечения разрушения микронеоднородностей в нем, так и для синтеза новых фаз. Благодаря отработке режимов комплексной МГД-обработки жидких металлов, созданы предпосылки существенного повышения свойств существующих сплавов и получения нового поколения функциональных материалов с уникальной структурой и комплексом специальных свойств. Эта идея положена в основу нового проекта на конкурс Программы «Горизонт-2020», исполнителями которого, кроме ФТИМС НАН Украины и НТУУ «КПИ им. Сикорского», являются ведущие научные центры и специалисты из Германии, Великобритании, Франции, Нидерландов, Австрии, а поддержку проекту оказали ведущие отечественные и зарубежные компании из разных отраслей – ракетостроения, черной и цветной металлургии, машиностроения.

В ходе разработки новой комплексной технологии рафинирования алюминиевых сплавов исследовано влияние МГД-факторов на диспергирование и распределение пузырьков аргона в расплавах при вводе их в жидкий металл в виде холодной, подогретой газовой струи или плазмы. При этом определены оптимальные значения параметров и эффективные режимы процесса: - скорость алюминиевого расплава вдоль дна тигля МДУ, м/с – 0,6-0,7; - скорость вдувания аргона, м/с – 1,0-2,0; - расход аргона, $\text{дм}^3/\text{мин}$ – 5,0; - место установки продувочных фурмы – устье бокового канала МДУ (зона нагнетания); - размеры продувочных каналов в графитовой фурме для ввода аргона в расплав – $\varnothing 1$ мм; - фактор, ускоряющий отрыв пузырьков газа от устья фурмы – динамический напор потока расплава. Состояние поверхности ванны жидкого алюминия в тигле при указанных параметрах продувки спокойный (визуально наблюдаются всплывающие дисперсные пузырьки), обеспечивается преимущественное (до 80%) диспергирование пузырьков до размера $\varnothing 1-2$ мм. В результате такой обработки обеспечивается снижение содержания водорода в алюминиевом расплаве до значений 0,10-0,05 $\text{см}^3/100$ г сплава, что сопоставимо с результатами вакуумирования, при одновременном уменьшении расхода аргона (до

30%) и сокращении времени обработки по сравнению с традиционными технологиями продувки с использованием импеллером.

Определены закономерности процесса фильтрации алюминиевого расплава через пенокерамические фильтры под действием созданных в МДУ направленных потоков в условиях пропускания через расплав переменного электрического тока. Установлены рациональные параметры процесса при обработке сплавов А356 и АК7ч: - масса расплава в МДУ – 250 кг; - температура жидкого металла – 750 °С; - пенокерамический фильтр – размеры 178×178×50 мм, пористость 10-20 пор на кв. дюйм; - производительность – 40 кг/мин; - кратность фильтрации – 3,2 массы расплава в МДУ (при одновременной продувке аргоном – 6,4). Соблюдение указанных характеристик обеспечило полноту удаления неметаллических включений из расплава на уровне 80%.

Использование современной микропроцессорной и компьютерной техники, систем текущего контроля и управления процессами обработки жидких алюминиевых сплавов, основанных на непрерывном контроле массы расплава в МДУ, позволило обеспечить оптимизацию энергопотребления литейного МГД-оборудования. Так, обеспечено увеличение скорости нагрева металла в диапазоне от 620 °С до 750 °С в среднем до 2-х раз при массе металла в МДУ 140, 200, 300 и 400 кг. Общее потребление электроэнергии при работе МДУ в режимах «Хранение» и «Заливка» сокращено соответственно на 22 и 30%. При этом, максимальная полная мощность индукторов в этих режимах была повышена на 58% (в 1,58 раза), а погрешность электромагнитного дозирования алюминиевого сплава в литейные формы и металлоприемники не превысила 2%, что соответствует лучшим мировым образцам литейной дозирующей робототехники.