

- продуктивність по перегріванню чавуну на 100 °С при повній загрузці – 1,68 кг/с (~6000 кг/год).

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення можливості розосередженої подачі розплаву плоским струменем фіксованої ширини у міжвалковий зазор установки валкового лиття безпосередньо з магнітодинамічного міксера-дозатора. Для цього слід оцінити розподіл індукції при зміні ширини полюсу магнітопроводу електромагніта та розробити технічні рішення щодо модернізації конструкції злиального металопроводу магнітодинамічного міксера-дозатора з урахуванням запобігання небезпеці бічного витікання розплаву з міжвалкового простору.

УДК 621.746.2:66.028

**В. И. Дубоделов, Н. А. Слажнев, К. С. Богдан, Ю. В. Моисеев,  
А. Ю. Кизилова**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев  
Тел./факс.: 0444242050, e-mail: [mgd@ptima.kiev.ua](mailto:mgd@ptima.kiev.ua), [slazhnev@ptima.kiev.ua](mailto:slazhnev@ptima.kiev.ua)

### **АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ КАНАЛОВ ЛИТЕЙНЫХ МГД-УСТАНОВОК В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В процессе эксплуатации канальных печей (ИКП) и магнитодинамических установок (МДУ), совмещающих элементов индукционной канальной печи и электромагнитного насоса, вследствие зарастания их каналов, приходится останавливать работу такого оборудования и проводить внеплановые работы по очистке каналов. Определение степени уменьшения поперечного сечения каналов указанных электротехнологических установок, весьма затруднительно. Для этих целей применяются различные методы.

В частности контроль изменения гидродинамической картины движения расплава по системе сдвоенного индукционного канала или определение отклонений электрических параметров работы систем индуцирования токов.

Визуальный метод проверки зарастания каналов магнитодинамических установок реализуется путём их включения в режимы "нагнетания", "всасывания" и "бокового перемешивания". При этом визуально производится оценка пропу-

ской способности канала по степени деформации поверхности жидкого металла над устьем центральным и бокового патрубков Ш-образного канала в зависимости от режимов включения. Однако такую оценку можно производить только при минимальном количестве расплава в тигле МДУ (не более 200 мм).

Как показал опыт эксплуатации магнитодинамических установок, зарастание каналов влияет на электрическое сопротивление жидкометаллического витка примерно на 10 - 12 % в сторону увеличения.

Одним из методов диагностики параметров тока в индукционном канале является использование пояса Роговского. Однако этот метод не позволяет точно определить "место" образования локального зарастания канала.

Кроме того, при повышении температуры металлического расплава его сопротивление увеличивается, и возникающая в результате неоднородность температуры жидкого металла в канале может внести дополнительную погрешность  $\Delta R = 1,0 \cdot 10^{-5}$  Ом.

Электрические методы прямого или косвенного измерения силы тока для оценки степени зарастания каналов ИКП отличаются сложностью и имеют существенную погрешность, поэтому исследователи предпочитают косвенные методы диагностики, в основу которых положен бесконтактный метод измерения пространственной картины распределения индуцированного электрическим током собственного магнитного поля.

На основании закономерности распределения индукции вокруг жидкометаллического проводника с током, в соответствии с законом Био - Савара-Лапласа, в качестве перспективного метода исследования режимов работы каналов ИКП и магнитодинамических установок, является способ измерения интенсивности распределения индукции магнитных полей рассеивания вокруг жидкометаллического проводника. Так, в случае образования в полости индукционного канала отложений продуктов зарастания, имеющих по сравнению с жидкометаллическим проводником большее удельное сопротивление, возникает искривление распределения линий индукции магнитного поля  $B$  в трёхмерном пространстве.

Использование указанного выше эффекта даёт возможность осуществить бесконтактный контроль и диагностику степени зарастания (состояния) каналов магнитодинамической установки в процессе их эксплуатации методом измерения тангенциальных составляющих индукции магнитных полей рассеивания при протекании тока в жидкометаллическом проводнике. Для этого можно исполь-

зывать традиционный датчик индукции в виде соленоида. При этом ось катушки соленоида размещают параллельно силовым линиям индукции.

Для более детального исследования процесса перераспределения силовых линий индукции требуется определение не только одной тангенциальной составляющей (по оси  $x$ ), но и двух других, соответственно тангенциальной по оси  $Y$  и нормальной - по оси  $Z$ . Это позволяет сформировать пространственную (3D) картину распределения силовых линий индукции магнитного поля по оси канала и, особенно, в зоне его локального зарастания неэлектропроводящими продуктами.

Для повышения точности определения отклонений режимов работы ИКП и магнитодинамических установок, а также состояния их каналов от заданных значений предложен новый способ контроля режимов работы индукционных единиц и устройство для его осуществления.

Принцип действия способа основан на пространственном (3D) измерении распределения интенсивности магнитных полей рассеивания вокруг каналов с помощью датчика, который содержит три пары взаимно-перпендикулярных преобразователей Холла ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). При протекании переменного электрического тока высокой плотности (от  $10^3$  А) через жидкометаллический проводник в канале вокруг него индуцируется переменное магнитное поле с индукцией  $B$ . При этом конфигурация распределения интенсивности индукции  $B$  повторяет контуры сечения канала с жидкометаллическим проводником, что позволяет отслеживать места локальных изменений направления протекания тока при изменении геометрии канала в процессе его зарастания.

Полученная информация после её программной обработки поступает в специализированный монитор, на дисплее которого высвечивается гистограмма, характеризующая состояние канала в месте расположения 3D датчика при его перемещении вдоль поверхности каналов магнитодинамической установки, что даёт возможность получить визуальную картину состояния каналов в процессе эксплуатации.

Для оценки эффективности и возможности практического применения разработанного способа и реализующего его устройства была проведена его экспериментальная проверка на физической модели с медным шинопроводом, по которому протекал ток  $I=500-600$  А, а также апробация на магнитодинамической установке МДН-6А-0,25 путём измерения индукции магнитных полей рассеивания вокруг жидкометаллического витка каждого из боковых каналов установки.

Предложенное устройство и способ диагностики позволили получить новый технический результат, выраженный в возможности реализации бесконтактного 3D измерения магнитной индукции полей рассеивания вокруг каналов МГД-установки, а полученную информацию использовать для определения местоположения и рельефа изменений состояний каналов, что позволяет их диагностировать, своевременно устранять и возвращать установку в штатный режим работы. В результате этого создаются предпосылки для повышения КПД установки и экономии энергоносителей.

УДК 669.046.516:669.131.7

**А. П. Еременко, А. А. Свиженко**

Днепродзержинский государственный технический университет,  
г. Днепродзержинск

## **ГРАФИТИЗИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**

Наибольшее применение для графитизирующего модифицирование чугуна в настоящее время получил ферросилиций марки ФС75 (ГОСТ 1415-75), содержащий помимо основного элемента примеси: алюминий, кальций, титан и др., которые активно влияют на графитизирующий потенциал ферросплава. Исследования показали, что содержание примесных элементов в ФС75 обусловлено спецификой производства и вызывает переменный графитизирующий эффект, что существенно сказывается на стабильности получения заданной структуры и свойств в отливках.

Для проведения исследований был использован ферросилиций ФС75 производства Ермаковского ферросплавного завода, Новокузнецкого завода ферросплавов, Челябинского электрометаллургического комбината, Стахановского завода ферросплавов. Базовый чугун, содержащий 4,1% С; 1,5 Si%; 0,62% Mn; 0,02% S; 0,4% Р, для проведения исследований, выплавляли на шихте, состоящей из литейного и пердедельного чушковых чугунов и возврата ЧШГ. Полученный металл затем переплавляли в индукционной печи, вместимостью 50 кг с кислой футеровкой.

После расплавления и скачивания шлака чугун в тигле печи обрабатывали никельмагниевогой лигатурой, содержащей 10,8% магния или комплексным моди-