

Авторы: Эрвин Доч, Кристоф Форстховель, Марко Рише, ABP Induction Systems GmbH, Дортмунд

Высокий уровень эксплуатационной готовности и безопасность при индукционной плавке

При операциях индукционной плавки небольшое расстояние между ванной расплава и водоохлаждаемой индукционной катушкой накладывает чрезвычайно высокие требования к системам мониторинга тигля и катушки. Усилия последних лет и разработки в данной области направлены на расширение функциональных возможностей и улучшение надежности и оперирования напольного детектирующего оборудования. Кроме того, так называемая катушка-еж и интегральное измерение износа посредством непрерывного считывания частоты и активной мощности обеспечивают дополнительную эксплуатационную безопасность. Наконец, проницаемая конструкция катушки с установленными между витками сегментами существенно повышает безопасность в случае поломки катушки.



Производство тигельных индукционных печей на предприятии компании ABP (Дортмунд, Германия)

Безаварийное функционирование плавильного оборудования — необходимое условие для достижения максимальной производительности установки и безопасности работы оператора. Оба аспекта оказывают влияние друг на друга. В случае индукционно-го плавильного процесса очень

жесткие требования предъявляются к взаимосвязанной системе: ванне расплава, огнеупорной футеровке, катушке и магнитному сердечнику (рис. 1) [1]. Из рисунка видно, что в тигельной индукционной печи расстояние между индукционной катушкой с водоохлаждаемым медным профилем

и нагретой до температуры 1600 °С ванной расплава в среднем составляет всего лишь 120 мм (толщина стенки тигля). Жидкий металл каким-либо способом может просочиться через стенку и вызвать короткое замыкание катушки, что может привести к поломке установки и в наихудшем случае расплавлению медного профиля и опасной утечке охлаждающей воды. Поскольку напряжение в катушке может достигать 3000 В, магнитные сердечники, подпирающие катушку по окружности, заземлены. Кроме того, очень короткая цепочка между катушкой и любым магнитным сердечником также приведет к поломке установки. Одновременно электроизоляция между катушкой и магнитными сердечниками должна выдерживать напряжение, возникающее в результате неизбежной вибрации переменного тока в катушке. Описанная взаимосвязь между факторами влияния свидетельствует о том, что печное оборудование, особенно системы контроля и мониторинга, должны соответствовать очень жестким требованиям надежности. Далее приведено описание решений, в которых были реализованы последние разработки в данной сфере.

Заземленный детектор

Принцип функционирования

Стандартный элемент оборудования для мониторинга тигля и катушки — заземленный детектор, с помощью которого измеряют электрическое сопротивление между ванной расплава и катушкой. Как показано на рис. 2, ванна имеет электрическое заземление через электрод в нижней части печи. Электрод состоит по крайней мере из трех проволок толщиной 4 мм, изготовленных из тугоплавкого аустенитного сплава, и устанавливается вместе с огнеупорной футеровкой нижней части печи. Ванна расплава имеет заземление с использованием по меньшей мере одного такого электрода. Резонансный контур монтируют между катушкой и заземлением. Контур действует как заземленный детектор, определяющий сопротивление изоляции как результат измерения тока через заземление и низкочастотное напряжение. Как только сопротивление падает ниже определенного значения, детектор регистрирует «замыкание на землю» и передает аварийный сигнал в программируемый логический контроллер (ПЛК), который отключает инвертор. Как показано на рис. 2, заземленный детектор измеряет не только сопротивление заземления индукционной катушки, но и схемы источника питания. Зарегистрированное замыкание на землю может быть результатом:

- » контакта между катушкой и заземленной ванной расплава;
- » контакта между катушкой и заземленными магнитными сердечниками;
- » заземления основных компонентов системы электропитания.

Поэтому первое действие, которое необходимо предпринять при регистрации замыкания на землю, — определить, какой из ранее

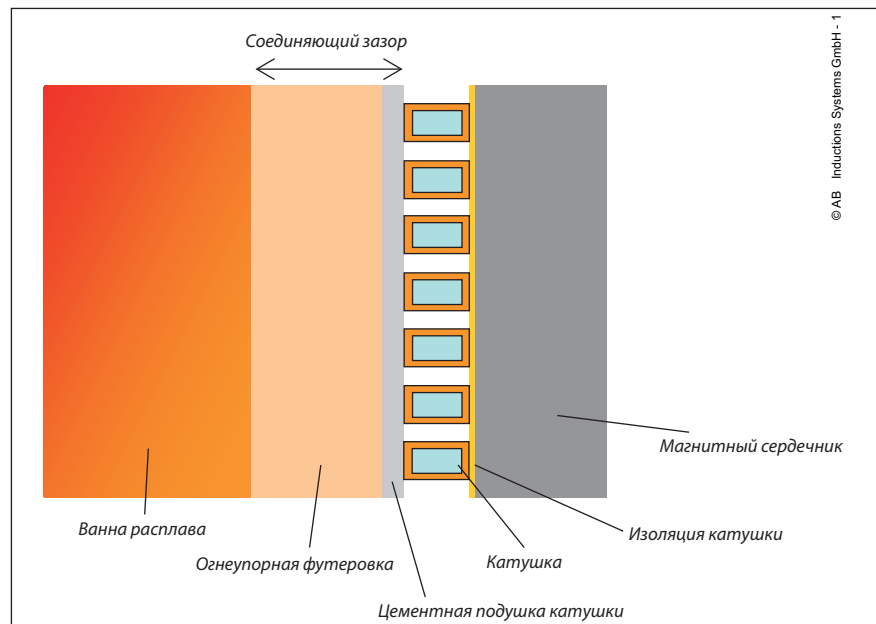


Рисунок 1. Схема тигельной индукционной печи: ванна расплава, тигель, катушка, магнитный сердечник

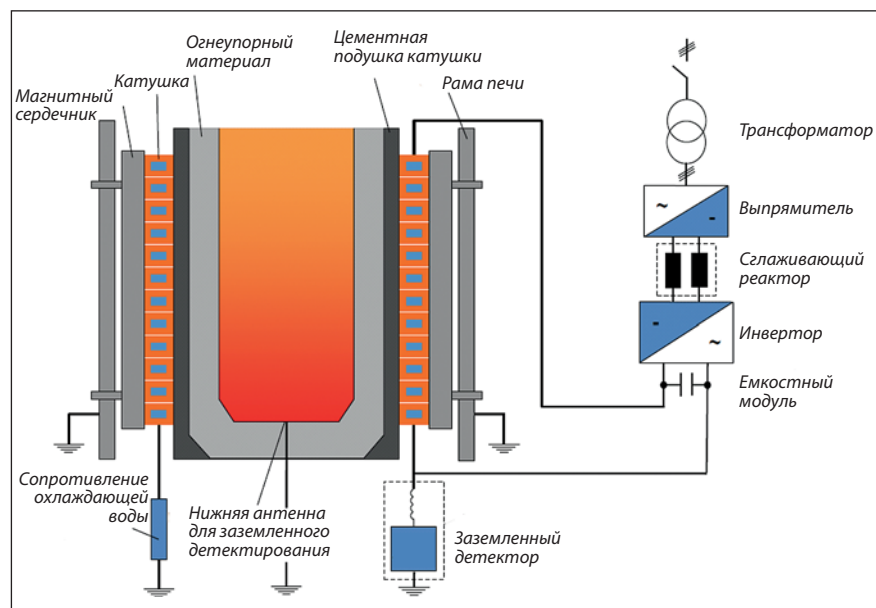


Рисунок 2. Заземленное детектирование для тигельной индукционной печи

перечисленных случаев имеет место. Высокозатратную по стоимости и времени процедуру выявления неисправности можно в значительной степени упростить и ускорить за счет установки релейных схем, с помощью которых после определенного рутинного испытания можно определить, какой из случаев имеет место: «неисправная огнеупорная футеровка», «дефект сердечника»

или «внешняя неисправность заземления». Кроме того, при наступлении ситуации «дефект сердечника» данные схемы позволяют быстро идентифицировать, какой именно сердечник вышел из строя. В случае события «неисправная огнеупорная футеровка» необходимо удалить неисправную футеровку с тигля для выявления причины контакта металл/катушка.

Испытание заземленного детектора в автоматическом режиме

Для проверки надлежащей работы заземленного детектора один раз в сутки ПЛК инициирует ложный сигнал дефекта заземления в холостом состоянии печного оборудования. Если система функционирует надлежащим образом, сигнал дефекта зазем-

ления регистрируется и передается в ПЛК. В этом случае сообщение о неисправности автоматически переустанавливается, и печное оборудование может быть запущено вновь. Если сигнал ложного дефекта заземления не определяется, блокирующий механизм препятствует включению печного оборудования.

Продолжительность данного теста составляет всего лишь несколько секунд.

Испытание заземления ванны расплава в автоматическом режиме

Детектор работает только в том случае, если имеется контакт между нижним электродом и ванной расплава. Поскольку существует риск прерывания контакта во время эксплуатации печи, например в результате ремонта футеровки нижней части агрегата, необходимо регулярно проводить проверку заземления ванны расплава. Подобные испытания обычно выполняют с помощью измерительной фурмы. Для исключения «человеческого фактора» при проведении данных операций процедуру осуществляют в автоматическом режиме. Для этого испытательный ток пропускают в расплавленный металл через дополнительную изолированную антенну в нижней части печи. При выполненном надлежащим образом заземлении поток тока проходит через металл и нижнюю антенну в землю. С помощью переключателя пороговых значений можно определить, достаточно ли заземления или нет. Испытание инициируется посредством ПЛК и занимает всего лишь несколько секунд. В случае отсутствия обнаружения заземления инвертор автоматически отключается.

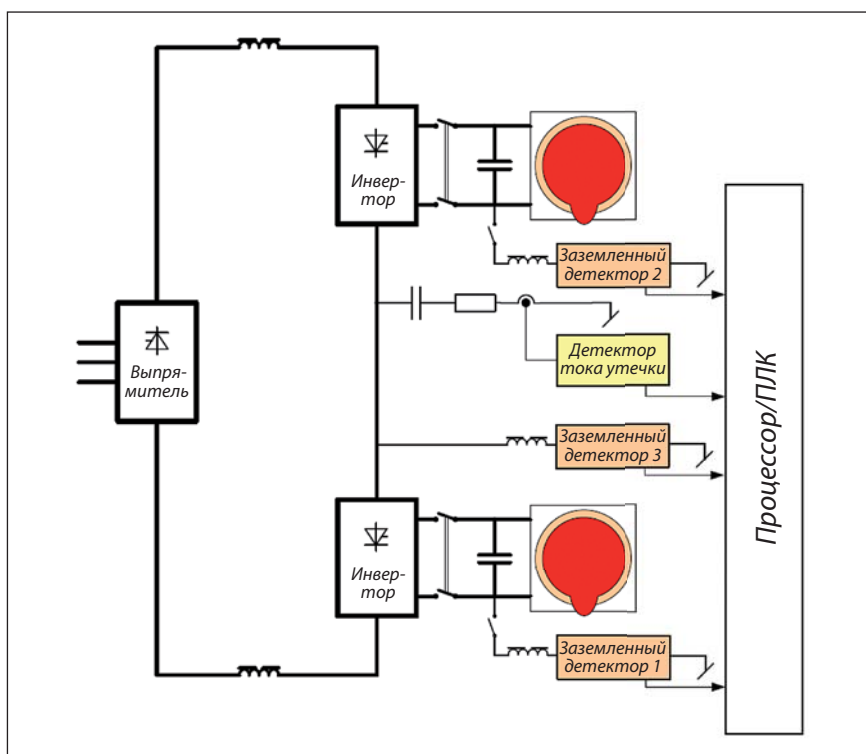


Рисунок 3. Схема системы заземленного детектирования и измерения тока утечки при сдвоенном режиме питания

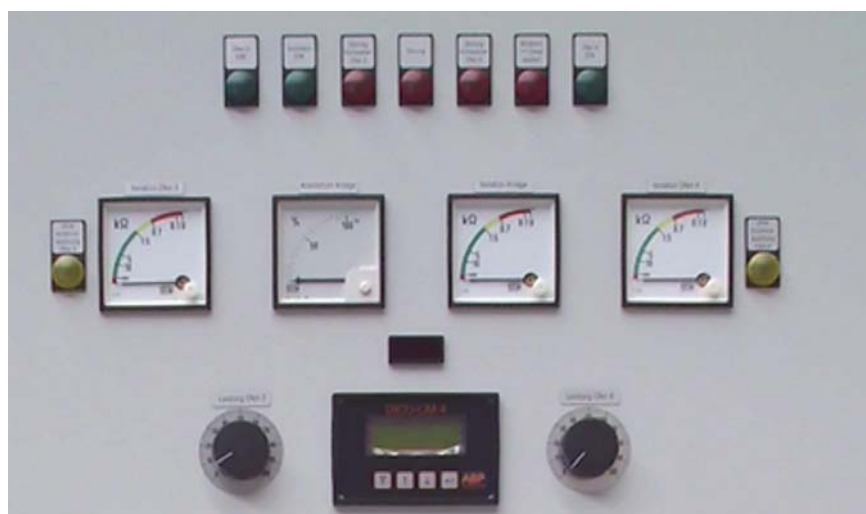


Рисунок 4. Приборы, показывающие измеренные значения сопротивления изоляции и тока утечки для печей, функционирующих в режиме сдвоенного питания

Автоматическое восстановление активности отключенного заземленного детектора

Печь, содержащая влагу от новой или отремонтированной футеровки тигля, обладает низким импедансом. В результате разрешается только низковольтный режим эксплуатации при отключенном заземленном детекторе. Хотя вероятность короткого замыкания и риск поломки печи сведены к минимуму благодаря пониженному напряжению и мощности, оператор должен в полной мере осознавать,

что эксплуатация печи с отключенным заземленным детектором все же увеличивает опасность выхода печи из строя. В качестве общего правила рекомендуется эксплуатировать печь с отключенным заземленным детектором в течение максимально короткого времени. Для предотвращения обесточивания системы случайно или в течение длительного периода время ее деактивации ограничено. После 24 ч работа заземленного детектора активизируется в автоматическом режиме. В случае, если сразу же снова происходит аварийная остановка детектора, оператор немедленно должен отключить его. В противном случае никаких других действий не требуется. Печь может функционировать в обычном безопасном режиме при включенном заземленном детекторе.

Заземленный детектор для режима сдвоенного питания

При режиме сдвоенного питания печей с двумя инверторами системы измерения изоляции могут оказывать влияние друг на друга, что приводит к искажению показаний. Заземленные детекторы 1 и 2 (рис. 3) могут обеспечить надежное определение сопротивления изоляции при отключенных инверторах. Тем не менее, когда инверторы находятся в рабочем состоянии, детектирование происходит, как это показано на принципиальной схеме (см. рис. 3). Посредством третьего заземленного детектора измеряют сопротивление всей установки, а за счет дополнительного параллельного детектора определяют ток утечки. При этом соединение между инверторами, которые в режиме сдвоенного питания установлены последовательно, подсоединяют к земле через емкость. Точковый трансформатор измеряет текущий к земле ток и выключает инвертор при превышении заданного значения. Выключа-

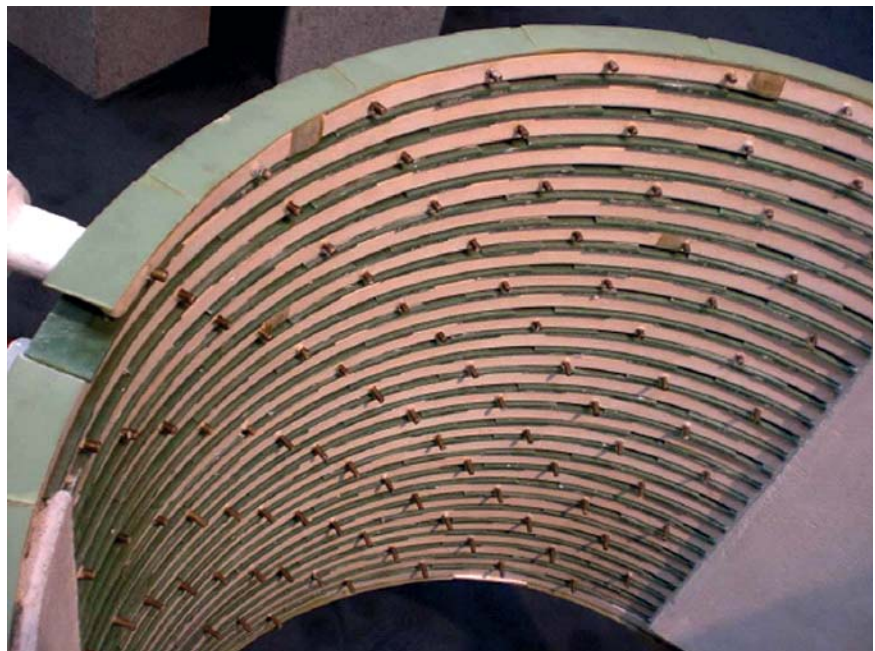


Рисунок 5. Подробный вид катушки типа «ёж» компании АВР

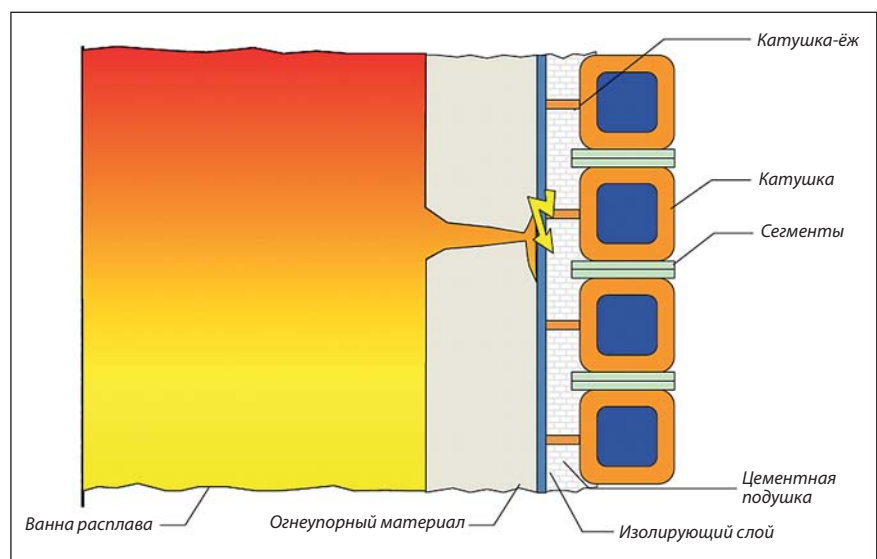


Рисунок 6. Нарушение заземления в результате касания проникающего металла стержней катушки-ежа

тель имеет очень малое время срабатывания (несколько миллисекунд). Срабатывание заземленного детектора 3 и измерение тока утечки происходят через соответствующее время в зависимости от триггерных свойств. Таким образом, во время синхронного функционирования двух печей система с высокой скоростью реакции обеспечивает непрерывный мониторинг сопротивления изоляции (рис. 4).

Применение катушки-ежа

Своевременное предупреждение о приближении металла к катушке достигается посредством использования так называемой катушки-ежа [2]. Через каждые 30–40 см на медном профиле припаяны болты длиной примерно 10 мм. Концевые участки болтов установлены заподлицо по отношению к цементной подушке катушки (рис. 5). Их назначение — своевременное пред-

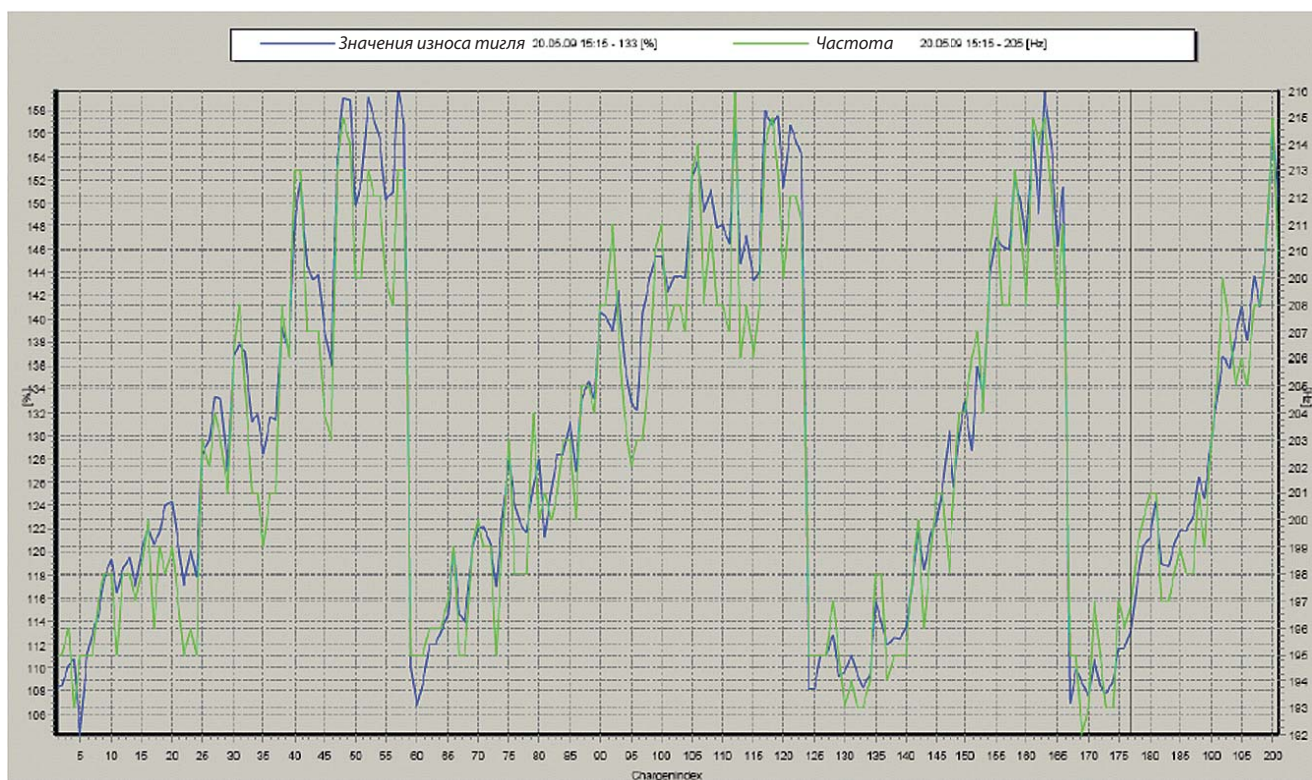


Рисунок 7. Временные графики колебаний частоты и активной мощности (в %) для тигельной индукционной печи в течение четырех кампаний тигля



Рисунок 8. Вид высокоэффективной катушки с подробным изображением сегментов между витками

упреждение об аккумуляции металла перед цементной подушкой катушки (рис. 6), который является, по существу, последним изолирующим слоем перед катушкой. Подобные накопления могут привести к образованию трещин или чрезмерной пористости огнеупорной футеровки. Критический фактор заключается в том, что они детек-

тируются раньше, чем возникнет какой-либо опасный контакт между просочившимся металлом и катушкой.

Интегральное измерение износа

Как видно на рис. 1, огнеупорный тигель представляет собой соединяющий зазор между катушкой и ванной расплава металла. Это

означает, что при уменьшении толщины стенки соединяющий зазор сужается и одновременно с этим снижается импеданс колебательного контура. Поскольку емкость конденсаторов остается неизменной, частота возрастает. С уменьшением импеданса увеличиваются активная мощность и частота. Подобные физические законы можно использовать для интегральной оценки износа тигля, которая включает измерение частоты и активной мощности, а также анализ измеренных значений в устройстве обработки данных [3] при наличии воспроизводимости условий (т. е. сохраняются те же напряжения печи и ее объем, температура расплава). Изменение частоты и мощности (в %), а следовательно, износа тигля с течением времени можно отобразить графически (рис. 7) для четырех кампаний тигля. Информация в сочетании с большим объемом накопленных опытных данных, а также визуальный осмотр темно-красной стенки тигля после выпуска металла позволяют получить объективное представление о фактиче-

ском состоянии тигля и тренде его изменения.

Более высокая безопасность за счет соответствующей конструкции катушки

Наряду с электрической задачей генерации электромагнитного поля индукционная катушка также играет важную роль поддержки огнеупорной футеровки в радикальном направлении. При разработке конструкции катушки необходимо решить задачу стабилизации системы медных витков таким образом, чтобы она могла выдержать растягивающие усилия тигля и возникающие в результате действия переменного тока силы вибрации. Тем не менее механическую стабилизацию необходимо выполнить таким образом, чтобы обеспечить проницаемость «стенки катушки» для удаления остаточной влаги во время спекания тигля с новой футеровкой, а также для беспрепятственного выделения охлаждающей воды в случае поломки катушки. Решение этой на первый взгляд противоречивой задачи — сегментированная конструкция катушки. На рис. 8 показан подробный вид конфигурации подобной катушки [2]. Изоляция толстостенного прямоугольного медного профиля выполнена из многослойного изолирующего лакокрасочного покрытия, что является особенным свойством несжимаемых пластин из стекловолоконной ткани. Эти пластины склеивают между медными профилями с зазорами, которые служат в качестве отверстий в стенке катушки для удаления влаги. Внешняя сторона катушки покрыта сделанным из стекловолоконной ткани кожухом, который также проницаем для пара и воды. Конфигурация катушки обеспечивает удаление наружу любой утечки охлаждающей воды. Это дает возможность предотвратить ситуацию, которая могла бы возникнуть в случае непроходимого исполнения катушки,

а именно: повышение давления водяного пара, проникающего в огнеупорную футеровку, до уровня, приводящего к разрыву печи расплавленным металлом.

Заключение

Для обеспечения безопасной эксплуатации тигельной индукционной печи необходимо производить соответствующие измерения для мониторинга тигля и катушки. Заземленные детекторы, которые в течение многих лет подтвердили свою надежность, позволяют определить, имеется ли контакт между ванной расплава и катушкой, и производить мониторинг сопротивления заземления контура подачи питания. За счет некоторого улучшения удалось повысить надежность и оперирование данной системы, что сделало ее пригодной для мониторинга двух тигельных печей, функционирующих синхронно в спаренном режиме. Установка катушки типа «ёж» обеспечивает своевременное детектирование проникновения металла по направлению к катушке. Случай интегрального износа тигля определяется с помощью непрерывного измерения частоты, активной мощности и анализа измеренных значений в устройстве обработки данных. Конструкция катушки с сегментами, установленными между витками, гарантирует, что утечка охлаждающей воды из катушки (хотя такая ситуация практически невероятна) не приведет к возникновению аварийной ситуации — разрыву печи металлом.

Библиографический список

- [1] elektrowärme international 1 (2013), p. 54–58
- [2] Dötsch, E.: Induktives Schmelzen und Warmhalten, Vulkan-Verlag, Essen, 2nd edition, 2013
- [3] elektrowärme international 54 (1996) B 1, p. B 9–B 15

www.abpinduction.com

Мы следим за каждой песчинкой

Технология пневматического транспортирования

Для сухих, легкотекучих, абразивных и абразивно-чувствительных материалов



Технология подготовки формовочной смеси

Системы «под ключ», предусматривающие дозирование песка и связующего, а также распределение формовочной смеси



Технология регенерации

Системы регенерации самотвердеющего песка и формовочной смеси



Konrad-Adenauer-Strasse 200 · 57572 Niederfischbach, Germany
Phone ++49 27 34 / 5 01-3 01 · Telefax ++49 27 34 / 5 01-3 27
E-mail: info@klein-ag.de · www.klein-ag.de

Реклама

Посетите нас на выставке GIFA 2015
Павильон 16, стенд C11