

ИНДУКЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИИ

БЫЧКОВ С.А., студ., СОКУНОВ Б.А., канд. техн. наук, САРАПУЛОВ С.Ф., д-р техн. наук,
ФРИЗЕН В.Э., канд. техн. наук

Приведены анализ физических процессов и результаты расчетов электротехнологических устройств.

Ключевые слова: металлургия, электромагнитный перемешиватель, расплав, магнитное поле.

INDUCTIVE ELECTROTECHNOLOGICAL DEVICES FOR METALLURGY AIMS

S.A.BUCHKOV, student, B.A.SOKUNOV, Ph.D., S.F.SARAPULOV, Ph.D., V.E.FRIZEN, Ph.D.

The work represents the analysis of physical processes and the calculation results of electrotechnological devices.

Key words: metallurgy, electromagnetic agitator, melt, magnetic field.

Индукционные устройства как общепромышленного, так и специального назначения применяются в металлургии при плавке и литье цветных и черных металлов [1].

К основным способам физического воздействия на расплав как в печи, так и при внепечной обработке относятся механическое, вибрационное, ультразвуковое и электромагнитное перемешивание металла [4]. Механическое перемешивание, основанное на использовании струй инертных газов или специальных конструктивных элементов, погруженных в расплав, ограничено насыщением расплава газами или необходимостью использования жаропрочных или жаростойких конструкций для перемешивания; вибрационные и ультразвуковые виды перемешивания не имеют этих недостатков, однако, по сравнению с электромагнитным перемешиванием, они не обладают комплексностью воздействия на жидкий металл, т.е. не являются универсальными.

Рассмотрим три типа электротехнологических устройств: индукционная тигельная печь (рис. 1); индукционное устройство для перемешивания расплава в кристаллизаторе скольжения (рис. 2) и устройство электромагнитного перемешивания специальных сплавов в закрытом объеме (в реторте) (рис. 3).

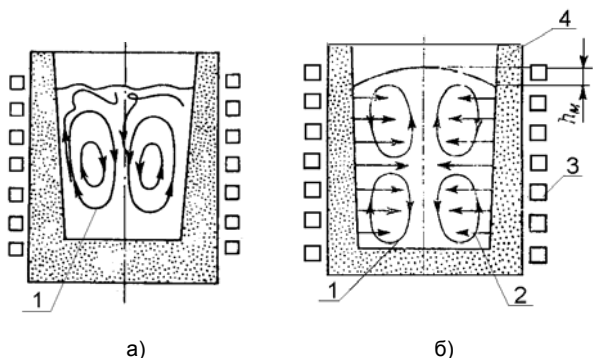


Рис. 1. Схема индукционной тигельной печи: а – однофазное питание; б – трехфазное питание; 1 – направление движения расплава; 2 – направление электродинамических сил; 3 – обмотка индуктора; 4 – тигель

Для всех трех устройств общим является преобразование электрической энергии в тепловую и механическую. По определению, индукционная плавильная печь предназначена для плавки металлов, следовательно, электромагнитное перемешивание в тигле яв-

ляется вторичным. В установках электромагнитного перемешивания основным технологическим эффектом является бесконтактное силовое воздействие на расплав, а вторичным – выделение тепловой энергии.

В индукционной тигельной печи электромагнитное перемешивание за счет электродинамических сил создает условия для интенсификации нагрева, а также равномерного распределения легирующих элементов в объеме расплава и более активного взаимодействия шлака с жидким металлом. В индукционной тигельной печи движение расплава может быть организовано как при однофазном питании – в сечении тигля наблюдается четырехконтурное движение металла (рис. 1,б), так и при трехфазном питании – в сечении тигля наблюдается двухконтурное движение металла (рис. 1,а).

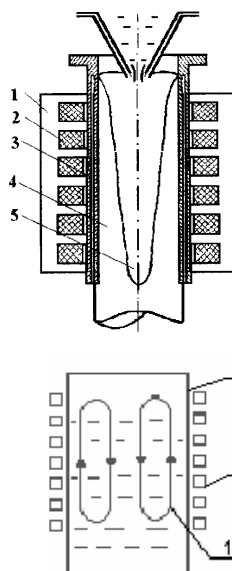


Рис. 2. Схема электромагнитного перемешивателя, совмещенного с кристаллизатором: 1 – направление движения расплава; 2 – магнитопровод; 3 – обмотка индуктора; 4 – жидкая фаза слитка

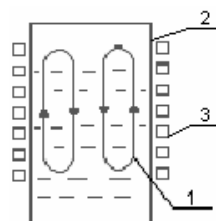


Рис. 3. Схема электромагнитного перемешивания в реторте: 1 – направление движения расплава; 2 – реторта; 3 – обмотка индуктора

С точки зрения металлургических процессов более эффективным является четырехконтурное движение металла, т.е. требуется однофазное питание индукционной тигельной печи. При однофазном питании предполагается преобразование трехфазной системы питающего напряжения в однофазную, т.е. помимо электропечного трансформатора необходимо устройство, преобразующее переменное напряжение в постоянное (выпрямитель), и устройство для преоб-

разования постоянного напряжения в переменное (инвертор).

Электромагнитное перемешивание (ЭМП) в процессе кристаллизации предназначено для улучшения качества литой структуры слитка, а так же для получения специальных сплавов, когда по технологии требуется достаточно активное перемешивание расплава в реторте, что особенно важно для получения сплавов из компонентов, имеющих значительную разницу в температурах плавления.

Следует отметить, что ЭМП, являясь альтернативой механическому перемешиванию, вибрации, введению микрохолодильников, обеспечивает бесконтактное силовое воздействие на кристаллизующийся металл, в результате чего достигается следующее:

- непосредственное перемешивание расплава, управляющее теплоотводом при кристаллизации;
- формирование поверхности слитков (формообразование слитков);
- уменьшение или увеличение силы тяжести за счет электромагнитных сил (так называемые левитационные эффекты);
- регулирование движения расплава в достаточно широком диапазоне скоростей.

Нежелательные особенности макро- и микро-структуры и дефекты литого металла возникают главным образом из-за неравномерности распределения температурных полей по объему слитка, а также вследствие постепенного изменения химического состава жидкой ванны в процессе кристаллизации и недостаточной подпитки кристаллизующихся участков расплавом. Применение различных физических воздействий, создающих движение расплава, должно оптимизировать структуру и снизить количество дефектов [3].

В устройствах электромагнитного перемешивания, работающих на промышленной частоте, предпочтительно можно отдать трехфазному питанию, позволяющему создать бегущее магнитное поле и реализовать движение расплава в аксиальном направлении (рис. 1,б).

Наряду с интенсивностью воздействия на расплав, которая определяется передаваемой мощностью посредством электромагнитного поля, электрофизическими и магнитными свойствами материала тигля (кристаллизатора, реторты), электрофизическими свойствами расплава, определяющую роль в технологическом процессе играет схема включения обмоток перечисленных электротехнологических индукционных устройств.

Получены макроструктуры поперечных темплетов сплава Л63, отлитых с применением электромагнитного перемешивания при одной и той же линейной нагрузке на поверхности магнитопровода и при прочих равных условиях (скорость вытягивания слитка, давление охлаждающей жидкости, температура разливаемого металла), но при разных схемах включения обмоток индукционного устройства (рис. 4).

При классическом варианте трехфазного включения между токами, находящимися в рядом лежащих обмотках, как правило, реализуется шестидесятиградусная фазная зона.

При варианте включения обмоток по схеме AZB реализуется 600 – 600 – 2400 фазная зона. В этом случае относительно рабочего объема возможно существование одного полюса для момента времени, когда три полуволны токов имеют одинаковый знак, т.е. возникают условия однофазного режима питания индукционной тигельной печи (рис. 5).

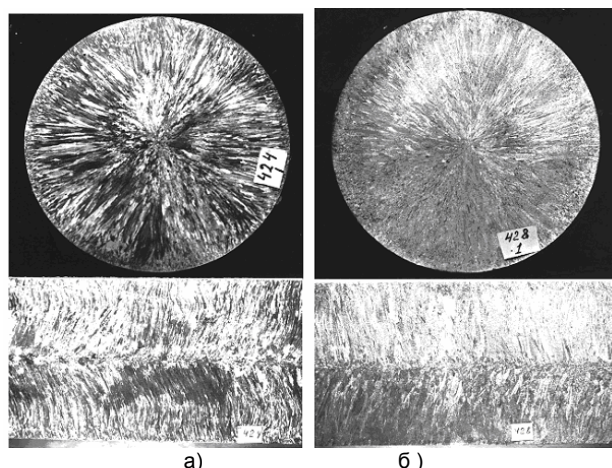


Рис. 4. Поперечный и продольный темплеты слитка Л63: а – схема AZBXY; б – AAZZBB

При такой схеме реализуются бегущее и пульсирующее магнитные поля. В случае реализации схемы AZBBZA или BZAAZB при трехфазном питании также реализуется вариант однофазного питания (рис. 1,а). Таким образом, используя трехфазный источник, можно получить движение расплава в объеме индукционной тигельной печи, кристаллизатора скольжения, реторте, аналогичное движению при однофазном питании.

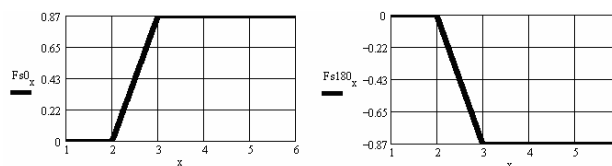


Рис. 5. Распределение МДС по пазам магнитопровода модели электромагнитного перемешивателя: схема соединения обмоток AAZZBB

Расчеты подобных устройств, а именно, распределения токов, МДС, усилий, а также температурного поля при различных схемах включения и соответствующих электрофизических и теплофизических свойствах элементов конструкции, находящихся между источником электромагнитного поля и рабочим телом (объемом), могут быть реализованы при помощи методик детализированных электрических магнитных и тепловых схем замещения, разработанных под руководством профессора Ф.Н. Сарапулова на кафедре ЭЭС УГТУ – УПИ [1, 2]. Расчеты МДС, нормальной и аксиальной составляющих индукции, усилий, выполненные с использованием этих методик [2], подтверждаются результатами исследований, проводимых в промышленных условиях.

Список литературы

1. **Плавильные** комплексы ИТП и их математическое моделирование / В.И. Лузгин, С.Ф. Сарапулов, Ф.Н. Сарапулов и др. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
2. **Математические** модели линейных индукционных машин на основе схем замещения: Учеб. пособие / Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, П. Шымчак. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ – УПИ, 2001.
3. **Индукционное** устройство в МГД-технологиях / Б.А. Сокунов, С.Ф. Сарапулов, Ю.С. Прудников и др. // Вопросы совершенствования электротехнологического оборудования и электротехнологий: сб. ст. № 8. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2000. С. 4–17.
4. **Специальные** способы литья: Справочник / Под ред. акад. АН УССР В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991.

Сарапулов Сергей Федорович,
Уральский государственный технический университет – УПИ,
доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электротехнологических систем,
телефон (343) 375-95-14,
e-mail: heat@r66.ru

Сокунов Борис Александрович,
Уральский государственный технический университет – УПИ,
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электротехнологических систем,
телефон (343) 375-95-14,
e-mail: heat@r66.ru