

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР

Смолин Георгий Константинович,

профессор, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: smolingk@yandex.ru

MAGNETOHYDRODYNAMIC SEPARATOR

Smolin Georgii Konstantinovich,

Professor, Doctor of Technical Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg, e-mail: smolingk@yandex.ru

Аннотация. Дан анализ состояния и перспектив разработки оригинального высоко-температурного магнитогидродинамического сепаратора.

Abstract. The analysis of the status and prospects of development of the original high temperature magnetohydrodynamic separator.

Ключевые слова. Магнитогидродинамический сепаратор, результаты исследований, моделирование.

Key words. Magnetohydrodynamic separator, research results, modeling.

Магнитогидродинамический сепаратор относится к магнитному обогащению и предназначен для очистки жидких металлов в металлургии, литейном производстве, машиностроении. Магнитогидродинамический сепаратор [1] содержит замкнутый магнитопровод с первичной обмоткой, кольцевой тигель 1 с дном 2, являющиеся вторичной обмоткой (рисунок 1), с входным и выходными патрубками, вертикально установленные перегородки, размещенные с зазором относительно дна 2 и верхней части тигля 1, и охватывающий кольцевой тигель 1 U-образный дополнительный магнитопровод 3. Дно 2 тигля 1 выполнено из материала с высокой удельной электропроводностью, например из меди, перегородки выполнены из электропроводного материала, а выходной патрубок выполнен из материала с низкой удельной электропроводностью, например из керамики, снабжен двумя диаметрально расположенными отверстиями и установлен с возможностью поворота вокруг вертикальной оси.

Магнитогидродинамический сепаратор работает следующим образом. Первичную обмотку включают в электросеть. При этом по стенкам тигля 1 и его дну 2 потекут индуцированные токи, которые разогреют тигель 1. В разогретый тигель 1 через входной патрубок поступает шлакометаллический расплав, в результате чего по тиглю 1 с шлакометаллическим расплавом (как по вторичной обмотке трансформатора) потекут индуцированные токи. Токи, текущие азимутально по шлакометаллическому расплаву в кольцевом тигле, дну 2 и стенкам тигля 1, наводят собственное магнитное поле, замыкающееся по U-образным магнитопроводам 3, пронизывающее тигель 1 с шлакометаллическим расплавом в радиальном направлении. При взаимодействии азимутального электрического тока с радиальным магнитным полем в тигле 1 с шлакометаллическим расплавом создаются аксиальные электромагнитные силы, направленные вертикально вниз. При этом происходит квазиутяжеление жидкого металла, а шлаки, воздушные пузырьки, соли и другие включения, на которые электромагнитные силы не действуют (или действуют значительно слабее, чем на

жидкий металл), всплывают на поверхность жидкого металла. Таким образом, шлакометаллический поток в тигле 1 будет постепенно расслаиваться на два потока: жидкометаллический, протекающий ниже перегородок, и шлаковый, протекающий выше перегородок. В секциях между перегородками происходит сепарация шлакометаллического расплава: металлические частицы двигаются вниз, а неметаллические – вверх. Шлак вытекает из тигля 1 через сливной носок, а жидкий металл – через выходной патрубок.

Рассмотрим процессы в тигле 1 МГД- сепаратора.

Анализ проводится для плоского линейного канала в поперечном сечении кольцевого тигля 1 и охватывающего кольцевой тигель 1 U-образного дополнительного магнитопровода 3 и дна 2, выполненного из материала с высокой удельной электропроводностью, например из меди. В соответствии с рисунком 1 плоский линейный МГД-канал расположен в декартовой прямоугольной системе координат XYZ. За базисную величину индукции принимается индукция насыщения материала U-образного магнитопровода 3; за базисную величину длины МГД-канала – глубина тигля 1, установленного в U-образный магнитопровод; другие базисы принимаются в соответствии с разделом 1.3 [5]. По каналу с шлакометаллическим расплавом течет переменный ток в направлении координаты X; этот ток наводится в канале посредством индуцированного электрического поля, обусловленного как изменяющимся во времени магнитным полем стороннего источника (первичной обмоткой трансформатора), так и движением в тигле металлического расплава в магнитном поле с индукцией, направленной в канале по координате Y, создаваемой переменным электрическим током, текущим по металлическому расплаву в тигле, стенкам 1 и дну 2 тигля. Металлический расплав подводится входным патрубком к активной зоне канала ($Z=1$), течет по каналу по координате Z, отводится от активной зоны канала ($Z=0$) выходным патрубком. МГД-канал из немагнитного материала (нержавеющей стали) расположен в пазу U-образного магнитопровода 3 между полюсами, магнитно замкнутыми на выходе канала ($Z=0$) ярмом. Анализируется режим работы МГД-канала, когда протекающий по каналу переменный ток создает наибольшую по условиям насыщения магнитопровода на входе в канал ($Z=1$) индукцию $B_1=1$. На дне паза ($Z=0$) на выходе из канала индукция принимает нулевое значение $B_0=0$, если выполняется допущение, что магнитная проницаемость стали во много раз больше магнитной проницаемости металлического расплава. Чтобы не получить противодействие от выходной части канала также желательно, чтобы индукция на дне паза магнитопровода 3 принимала нулевое или минимальное значение. На входе в канал действует только сторонняя компонента электрического поля, поэтому при $Z=1$ напряженность индуцированного поля $E=0$. При этих граничных условиях решается система уравнений (1.1-1.12) движения металлического расплава в электромагнитном поле [5], определяются постоянные интегрирования, находятся характеристики МГД-канала, в частности зависимости индукции B, плотности тока J, плотности электромагнитных сил f, перепада электромагнитного давления p от глубины Z тигля и влияющих параметров: магнитного числа Рейнольдса $R_m=1$ и относительной длины канала $L=2,5$ [2-7].

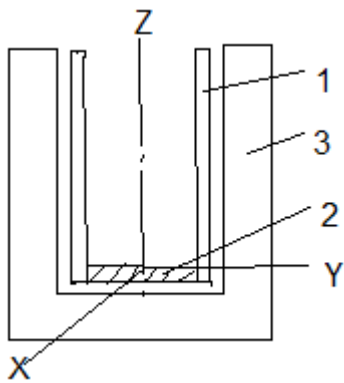


Рис.1 .Вертикальное сечение тигля МГД-сепаратора в системе координат XYZ

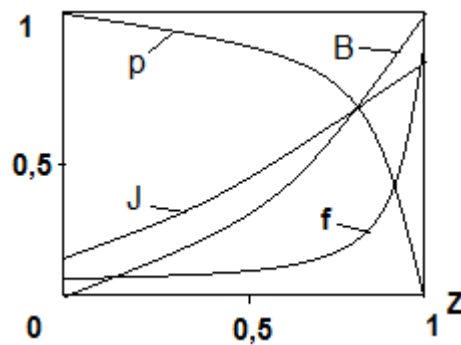


Рис.2. Распределение B, ρ , J, f по глубине тигля Z

Анализ зависимостей показывает следующие особенности канала магнитогидродинамического сепаратора (при относительной длине канала или относительной глубине тигля МГД-сепаратора равной $L=2,5$). Индукция, наибольшая на входе в канал $B_1=1$ при $Z=1$, наименьшая на выходе из канала $B_0=0$ при $Z=0$, при увеличении магнитного числа Рейнольдса (увеличении скорости потока металлического расплава) сносится потоком на глубину паза магнитопровода в соответствии с рисунком 2. Аналогично распределена плотность электрического тока J а также плотность электромагнитных сил f. Электромагнитный напор ρ , создаваемый всем каналом, является постоянной величиной (что определяется граничными условиями на входе и выходе канала), однако вклад в этот напор различных частей канала меняются: при малых магнитных числах Рейнольдса R_m напор создается входной частью канала, при больших магнитных числах Рейнольдса R_m напор равномерно создается по всей глубине тигля. Механическая мощность тигля с увеличением R_m нарастает от нуля до максимума, затем асимптотически приближается к нулю. С увеличением относительной глубины тигля L экстремумы кривых мощности сдвигаются в сторону больших R_m . Коэффициент полезного действия при реальном параметре $L=2,5$ с достаточной для практики точностью рассчитывается по формуле $\eta=0,12 R_m$ при достижимых значениях магнитных чисел Рейнольдса $1 < R_m < 3$. Коэффициент мощности с достаточной для практики точностью определяется зависимостью $\text{Cos}f=0,7 + 0,02R_m$. Таким образом, магнитогидродинамический сепаратор развивает параметры, удовлетворяющие требованиям металлургии и литейного производства.

Список использованных источников

1. А. с. 1461508 А1 СССР, В 03 С 1/30. Магнитогидродинамический сепаратор / Г. К. Смолин. 1989. Бюл. № 8.
2. Смолин Г.К. Высокотемпературный МГД-насос //Проблемы электроэнергетики, машиностроения и образования: сб. науч. тр. / под редакцией Г.К. Смолина. Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2005. С. 22-43.

3. Смолин Г.К. МГД-устройства для обработки расплавленного металла // Проблемы электроэнергетики, информатики и образования: сб. науч. тр. / под редакцией Г.К.Смолина. Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2009. С. 69 - 80.

4. Смолин Г.К. Трехфазный безобмоточный МГД-насос «Тандем» // Проблемы электроэнергетики, информатики и образования: сб. науч. тр. / под редакцией Г.К. Смолина. Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2010. С. 55 – 58.

5. Разработка основ теории, методики расчета нового электромагнитного насоса "Тандем" для жидких металлов и исследование его параметров и характеристик: заключительный отчет о НИР/ ФГАОУ ВО РГППУ; Руководитель Г.К.Смолин. № госрегистрации 01201170836. Екатеринбург, 2015. 100 с.

6. Смолин Г.К., Шабалдин Е.Д. Линейно-вихревые и трансформаторные МГД-устройства / Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике: материалы 1 Международной научно-технической конференции . Пермь, 24-25 сентября 2015 г. Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2015. С.216-223.

7. МГД-установка для разлива металлических расплавов: заключительный отчет о НИР / Рос. гос. проф.-пед. ун-т; Руководитель Г.К. Смолин. № госрегистрации 01.200.111142. Екатеринбург, 2005. 150 с.