

В. Н. Фикссен

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Предложен новый принцип формирования рабочей зоны в магнетодинамических установках и соответствующая конструкция устройства. Благодаря равномерности распределения плотности тока по высоте рабочей зоны и увеличению расстояния, на котором в ней суммируются электромагнитные силы, становится возможным повышение электромагнитного давления, предположительно, не менее чем до 50 кПа. Этим создаются предпосылки для значительного расширения области применения магнетодинамических установок в литейных технологиях, особенно в литье под электромагнитным давлением.

Ключевые слова: магнетодинамическая установка, рабочая зона, плотность тока, электромагнитная сила, электромагнитное давление, гидравлический напор, П-образный канал, литье под электромагнитным давлением, дозирование.

Запропоновано новий принцип формування робочої зони в магнетодинамічних установках і відповідну конструкцію пристрою. Завдяки рівномірності розподілу щільності струму по висоті робочої зони і збільшенню відстані, на якій в ній підсумовуються електромагнітні сили, стає можливим підвищення електромагнітного тиску, приблизно, не менше ніж 50 кПа. Цим створюються передумови розширення області застосування магнетодинамічних установок в ливарних технологіях, особливо в литті під електромагнітним тиском.

Ключові слова: магнетодинамічна установка, робоча зона, щільність струму, електромагнітна сила, електромагнітний тиск, гідралічний напір, П-подібний канал, лиття під електромагнітним тиском, дозування.

New principle of forming of a working zone in magnetodynamic devices and corresponding construction of the device are offered. Due to uniform distribution of a current density on the height of working zone and increasing of a distance, where electromagnetic forces are summarized, the increasing of electromagnetic pressure supposedly no less than 50kPa becomes possible. Due to that, pre-conditions for considerable expansion of application of magnetodynamic devices in casting technologies, especially in electromagnetic low-pressure casting are created.

Keywords: magnetodynamic device, working zone, current density, electromagnetic force, electromagnetic pressure, hydraulic pressure, П-like channel, electromagnetic low-pressure casting, dosage.

Применение магнетодинамических установок МДН-6А в литейных технологиях

Магнетодинамическая установка для алюминиевых и цинковых сплавов МДН-6А (рис. 1), прошла более чем сорокалетнюю апробацию на многих предприятиях [1, 2]. В основном она использовалась как миксер-дозатор в сочетании с машинами литья под давлением и с кокильными машинами. Принимая во внимание большой практический опыт, накопленный при промышленном использовании установки МДН-6А, целесообразно при разработке новых магнетодинамических установок принять её за базовое устройство как эталон для сравнения. К настоящему времени устройство называют многофункциональным, поскольку оно используется и в других технологиях, связанных не только с литьём, но и с приготвлением и рафинированием сплавов. Разработаны и внедрены в производство два вида литья под электромагнитным давлением (ЛЭМД): по технологической схеме литья под низким газовым давлением, в которой пневматическое давление заме-

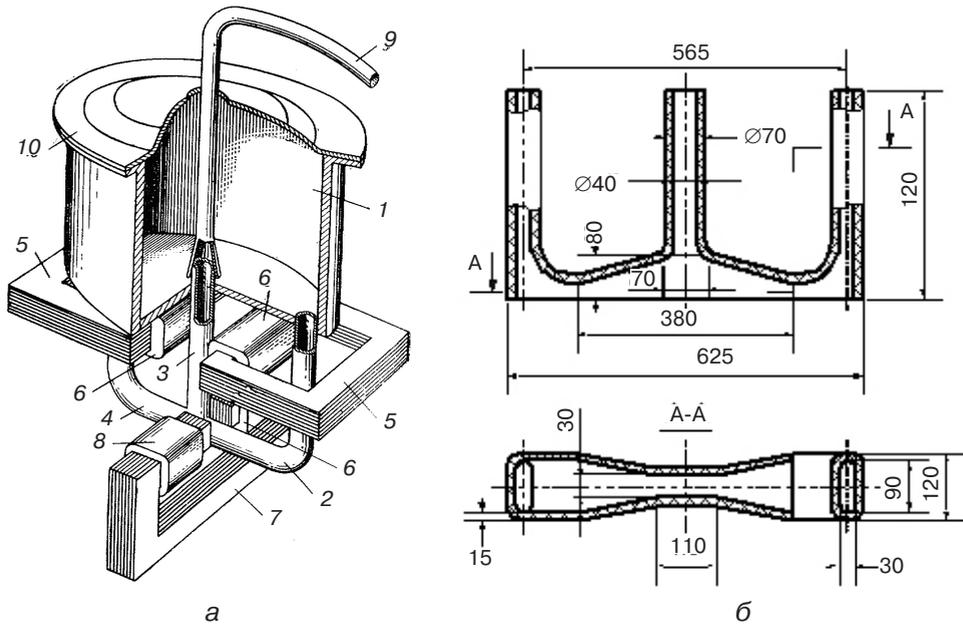


Рис. 1. Схема магнитодинамической установки МДН-6 (а) и эскиз вставки в её Ш-образный канал (б): 1 – тигель; 2 – боковые участки канала; 3 – центральный участок канала; 4 – горизонтальный участок канала; 5 – магнитопроводы индукторов; 6 – обмотки индукторов; 7 – С-образный магнитопровод электромагнита; 8 – обмотки электромагнита; 9 – съёмный сливной металлопровод; 10 – крышка тигля

нено электромагнитным [3, 5, 6]; с использованием принципа рассредоточения литниково-питающей системы (процесс РАСЛИТ-ЛЭМД) [4-7]. Кроме того, в производственных условиях апробирован метод комплексного рафинирования алюминиевых сплавов, в котором фильтрование и продувка расплава инертным газом производятся одновременно [8-10]. В лабораторных условиях проводились эксперименты по приготовлению, легированию и модифицированию алюминиевых сплавов [11]. Использование установки в производственных условиях в качестве плавильной печи в подавляющем большинстве случаев оказалось неэффективным из-за малой производительности и быстрого зарастания канала. Все перечисленные процессы были реализованы при электромагнитном давлении, не превышающем 25 кПа (максимальное рабочее давление), что соответствует 1 м столба жидкого алюминия с удельной плотностью 2500 кг/м³. Различные марки алюминиевых сплавов несколько отличаются по плотности, поэтому более точное значение гидравлического напора для каждой из них необходимо определять экспериментально.

Актуальность задачи повышения электромагнитного давления в магнитодинамических установках

В настоящее время наиболее перспективным применением магнитодинамических установок, предназначенных для алюминиевых сплавов, представляется развитие технологий ЛЭМД и РАСЛИТ-ЛЭМД. Однако препятствием к расширению области их применения является недостаточное рабочее давление, из-за чего приходится ограничиваться литьём невысоких отливок. От заказчиков неоднократно поступали предложения, реализация которых оказывалась **невозможной на существующем оборудовании** из-за недостаточной величины развиваемого давления, поэтому задача его повышения хотя бы до 50 кПа актуальна. Необходимо также отметить, что имеется много других актуальных технологических задач, решение которых невозможно без достижения более высокого давления, чем то, которое способна создать установка МДН-6А.

Устройство магнитодинамической установки МДН-6А

Электромагнитное давление создаётся в рабочей зоне – области, расположенной в месте пересечения горизонтального и центрального участков канала и помещённой в зазор электромагнита. Магнитодинамическая установка МДН-6А (рис. 1, а) имеет канал принципиально такой же, как у индукционных каналных печей, однако в области рабочей зоны приходится делать «пережим». Полость канала создаётся литой огнеупорной вставкой (рис. 1, б), изготовленной из синтетической плавленной слюды – калиевого фторфлогопита. Данный материал прошёл многолетнюю проверку и в настоящее время равноценной замены ему пока нет. Вставка размещается внутри металлического кожуха и удерживается в нём жаростойким бетоном, заполняющим зазор между вставкой и кожухом.

Известные способы решения задачи повышения электромагнитного давления в установке МДН-6А

Задачу повышения электромагнитного давления пытались решать в основном уменьшением немагнитного зазора в электромагните, придвижением его катушек как можно ближе к рабочей зоне и изменением формы полюсных наконечников. Первое мероприятие обеспечивает повышение давления, но приемлемо только до определённого предела, обусловленного рациональной величиной немагнитного зазора электромагнита, составляющего 120 мм. Такая величина определяется необходимыми толщинами рабочей зоны и футеровки. С помощью второго мероприятия можно повысить магнитную индукцию в рабочей зоне на 10-15 %. Однако наличие переходных участков в рабочей зоне конструктивно отодвигает катушки от канала. Изменение формы полюсных наконечников дало незначительное повышение магнитной индукции [2]. Наиболее эффективно электромагнитное давление было повышено последовательным соединением двух рабочих зон, что реализовано в магнитодинамической установке МДН-4 с Ф-образным каналом [2, 12]. Данное устройство обеспечивает электромагнитное давление до 50 кПа, но, по сравнению с установкой МДН-6А, использовать его для литейных процессов, за редким исключением, например, для циркуляционного вакуумирования [13], не рационально. Известны также другие меры, направленные на повышение давления путём концентрирования магнитной индукции и электрического тока в рабочей зоне [14, 15]. Экспериментальная проверка этих идей показала, что при их одновременном использовании можно повысить давление на 15 %, однако достигнутый эффект сопровождался снижением надёжности канала, поэтому в производственных условиях они не нашли применения.

Рабочая зона магнитодинамической установки

В МДН-6А построение рабочей зоны производят согласно схеме (рис. 2, а). От поперечного сечения полости канала 90×30 мм производится переход к се-

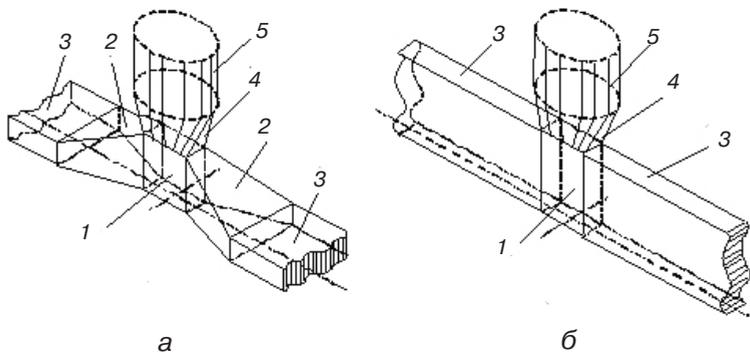


Рис. 2. Схема формирования рабочей зоны в канале установки МДН-6А (а) и её оптимизированный вариант (б): 1 – рабочая зона; 2 – участки перехода к рабочей зоне; 3 – участки рационального расположения полости канала относительно индукторов; 4 – область перехода от рабочей зоны к центральной ветви канала; 5 – начальный участок центральной (нагнетательной) ветви канала

чению 30×80 мм. Для формирования рабочей зоны 1 делают переходные области 2 от участков канала 3 с нормальным расположением относительно индукторов к «пережиму». Переходный участок 4 соединяет рабочую зону 1 с центральной, нагнетательной частью канала 5. Из-за этого горизонтальная полость канала усложняется, участки 3 удаляются от индукторов примерно на 40 мм и как следствие этого снижается коэффициент мощности установки. Также необходимо принимать во внимание то, что часть тока, протекающего по рабочей зоне, выходит за её пределы в верхней части и располагается в переходном участке 4, соединяющем рабочую зону с центральной ветвью канала, поэтому реальная высота рабочей зоны составляет около 90 мм. Другие устройства, например [16], в которых такого «пережима» нет, уступают установке МДН-6А по величине создаваемого электромагнитного давления из-за менее рационального использования магнитного потока, проходящего через рабочую зону.

Оптимальной была бы рабочая зона, сформированная по схеме (рис. 2, б). Ориентирование в пространстве и форма её поперечного сечения такая же, как на остальных участках канала, и главное – отсутствуют переходные участки 2. В базовой схеме (рис. 2, а) плотность тока по высоте рабочей зоны распределяется неравномерно, что объясняется затуханием в расплаве электромагнитной волны, создаваемой индукторами. При частоте 50 Гц плотность тока, индуцированного в жидком алюминии, убывает по экспоненте в 2,72 раза на расстоянии 3,6 см от поверхности жидкого алюминия, на которую воздействует электромагнитное поле [17]. Это значит, что в рабочей зоне установки МДН-6А плотность тока резко уменьшается по направлению сверху вниз. Приблизительный расчёт показывает, что около 85 % тока, протекающего в рабочей зоне, располагается в двух верхних третях высоты рабочей зоны. Данный фактор является неблагоприятным, так как, при увеличении силы тока в канале с целью повышения давления, плотность тока вверху рабочей зоны достигает критического значения, в то время как средняя плотность тока намного меньше. Под критическим значением подразумевается такая плотность тока, при которой происходит разрыв жидкометаллического витка под действием линейного пинч-эффекта. Таким образом, неравномерность распределения тока в рабочей зоне является фактором ограничения силы тока в канале, а соответственно и электромагнитного давления.

Не менее важен также вопрос рационального преобразования электромагнитной силы в гидравлический напор. Экспериментально установлено [18], что при гидравлическом напоре 1,12 м столба жидкого алюминия (28 кПа) на жидкий металл действует объёмная электромагнитная сила в 20 кг, которая распределяется на выходе из рабочей зоны по площади, примерно, 25 см². Это соответствует давлению 80 кПа или при переводе в гидравлический напор 3,2 м столба жидкого алюминия. Если создать условия, при которых электромагнитная сила, действующая на расплав, заполняющий рабочую зону, будет сконцентрирована на площади проходного сечения центрального участка канала, равного 12,6 см², то создавалось бы давление 159 кПа. Если принять 159 кПа за величину, соответствующую стопроцентному преобразованию электромагнитной силы в давление, а измеренная реальная величина составляет 28 кПа, то в давление преобразуется только 18 % электромагнитной силы. Потерянные 82 % состоят из двух частей, одна из которых создаёт давление на площадь, расположенную вокруг входа в центральный участок канала, а вторая приводит во вращение два вихря, которые симметрично размещаются в рабочей зоне. При этом следует отметить, что часть кинетической энергии вихрей, между которыми возникает поток, направленный вверх, преобразуется в полезный напор [2].

Ограничения, накладываемые на конструкцию устройства технологическими и физическими факторами

Для принятия рациональных мер по повышению электромагнитного давления

необходимо сформулировать и учесть ограничения, которые накладываются на конструкцию устройства технологическими и физическими факторами.

Во-первых, исходя из условий надёжности работы канала, немагнитный зазор электромагнита нельзя делать меньше 120 мм.

Во-вторых, величина металлостатического давления в рабочей зоне при минимально допустимом уровне расплава в тигле должна противодействовать разрыву жидкометаллического витка, происходящего под действием пинч-эффекта [19, 20]. Исходя из этого, имеется ограничение по плотности тока в канале магнитодинамической установки.

В-третьих, в рабочей зоне при создании электромагнитного давления образуются области разрежения, которые вызывают подсосывание воздуха из футеровки, если она пориста или изготовлена из плотного материала, но имеет трещины. Вследствие этого разрыв жидкометаллического витка может происходить при меньшей плотности тока, чем при учёте только пинч-эффекта, поэтому, учитывая одновременность действия пинч-эффекта и разрежения, необходимо использовать для изготовления канала газонепроницаемые огнеупорные материалы без трещин и увеличивать металлостатическое давление в рабочей зоне за счёт повышения глубины жидкометаллической ванны [21].

В-четвёртых, существующую в установке МДН-6А высоту рабочей зоны не имеет смысла увеличивать ради повышения электромагнитного давления, поскольку подавляющая часть тока (85 %) всё равно будет протекать не более, чем 60 мм по высоте в верхней части рабочей зоны. Кроме того, возрастет расстояние между индукторами и участком канала, содержащим рабочую зону, то есть, снизится коэффициент мощности и увеличится площадь поперечного сечения полости канала. Если сравнивать магнитодинамический и электромагнитный насосы с бегущим магнитным полем, то преимущество второго, если не принимать во внимание его недостатки, состоит в том, что фактически весь канал насоса, в отличие от канала магнитодинамической установки, является рабочей зоной, поэтому увеличивая длину насоса можно получить заданное давление. Это преимущество проявляется, несмотря на то, что объёмные электромагнитные силы в канале насоса с бегущим магнитным полем имеют значительно меньшую величину, чем в МДН-6А, однако они распределены по длине канала и суммируются на расстоянии, превышающем высоту рабочей зоны МДН-6А минимум в 10 раз.

Таким образом, перечисленные ограничения являются препятствием на пути к увеличению электромагнитного давления, создаваемого установкой МДН-6А. Из-за конструктивных особенностей установки невозможно достигнуть энергетически оправданного повышения электромагнитного давления до значения, которое позволило бы значительно расширить область применения технологии литья под электромагнитным давлением.

Путь решения проблемы

Для достижения намеченной цели необходимо устранить в канале «пережим», обеспечить равномерное распределение плотности тока по высоте рабочей зоны, увеличить её высоту и приблизить катушки электромагнита к ней. Это позволит увеличить протяжённость участка, на котором суммируются электромагнитные силы, и магнитную индукцию. Перечисленные меры реализуются в заливочном устройстве магнитодинамического типа согласно патенту [22] (рис. 3). Устройство включает тигель 1 с жидким сплавом 9, П-образный канал 2, который крепится к тиглю 1 горизонтально или под углом, индуктор 4, расщеплённый на две части, С-образный электромагнит 5, размещённый относительно рабочей зоны канала 3 таким образом, что часть электромагнита с первой катушкой 6 находится внутри П-образного канала 2 между частями расщеплённого индуктора 4, а вторая часть электромагнита 5 со второй катушкой 6 – снаружи канала. Здесь использован термин

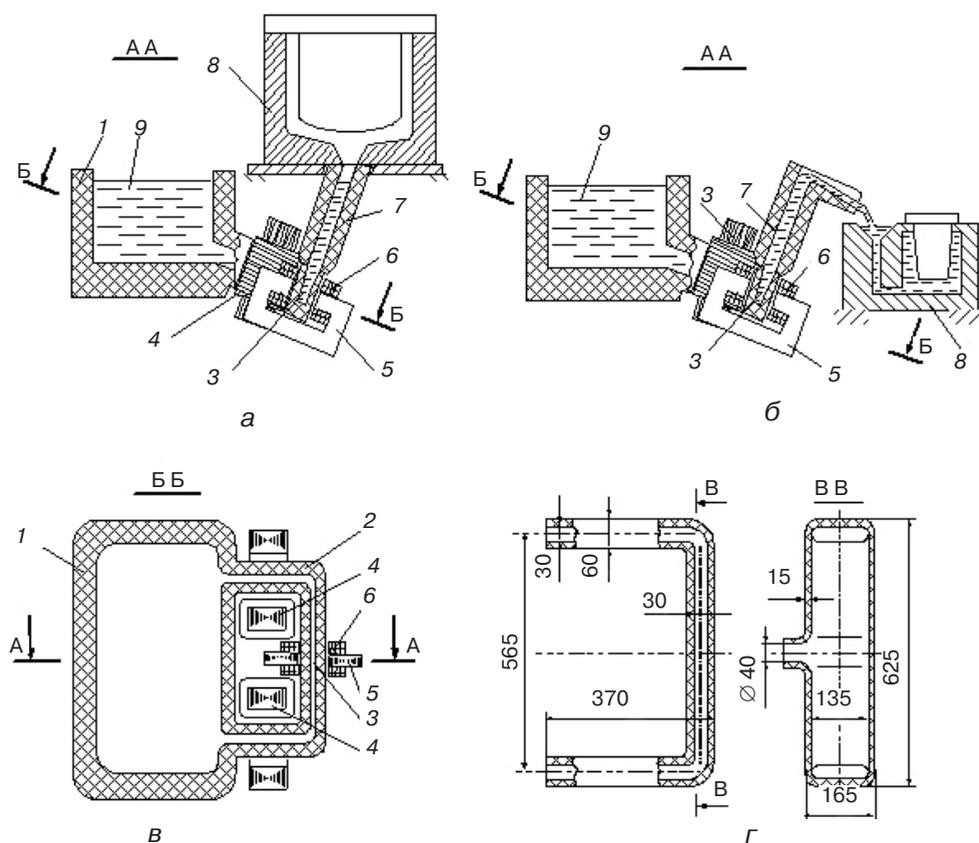


Рис. 3. Эскизы заливочного устройства магнетодинамического типа с расщеплённым индуктором: а – в технологической схеме литья под электромагнитным давлением; б – при дозировании открытой струёй; в – общий разрез для обеих схем; г – эскиз вставки в П-образный канал устройства; основные составные элементы устройства: 1 – тигель; 2 – П-образный канал; 3 – рабочая зона; 4 – расщеплённый индуктор; 5 – С-образный электромагнит; 6 – катушки электромагнита; 7 – металлопровод; 8 – литейные формы; 9 – жидкий сплав

«расщеплённый индуктор» по аналогии со стандартным термином «расщеплённая обмотка». В предлагаемом устройстве (рис. 3) имеются реальные предпосылки получения более высокого электромагнитного давления, чем в установке МДН-6А. Утверждение основано на следующих доводах.

Допустим, что в П-образном канале форма и размеры поперечного сечения его полости, включая рабочую зону, будет одинакова на всём протяжении, например, толщина 30 мм, а высота 90 мм и более, что соответствует оптимальной схеме (рис. 2, б). Благодаря равномерности распределения плотности тока по высоте рабочей зоны увеличивается допустимое максимальное значение тока в канале и более полно используется магнитный поток, создаваемый электромагнитом. Вследствие устранения «пережима», появляется возможность приблизить катушки электромагнита к каналу и за счёт этого повысить в ней магнитную индукцию на 10-15 %. Для значительного повышения давления необходимо увеличить высоту рабочей зоны, а соответственно и канала, поскольку в нём все поперечные сечения идентичны. При этом легко избежать увеличения максимально допустимого значения плотности тока при значительном увеличении силы тока. Например, для того, чтобы увеличить ток в канале в 1,5 раза, без превышения критического значения плотности тока, высота канала должна быть увеличена до 135 мм. Разумеется, при этом необходимо привести параметры индукторов в соответствие с возросшей

высотой канала. Также необходимо увеличить высоту полюсов электромагнита с 80 до 135 мм, а ширину оставить прежней. Катушки электромагнита приобретут более вытянутую форму, а количество витков останется прежним. При реализации перечисленных мер увеличится примерно в два раза эффективное расстояние, на котором суммируются равномерно распределённые по высоте рабочей зоны объёмные электромагнитные силы, и появится возможность повысить силу тока в канале, не превышая критического значения плотности тока, поэтому ожидаемое максимальное значение электромагнитного давления составит не менее 50 кПа. Способы ЛЭМД и особенно РАСЛИТ-ЛЭМД имеют значительные технологические преимущества перед литьём под низким пневматическим давлением [5], но уступают ему по величине создаваемого давления, поэтому при достижении давления в 50 кПа, они смогут успешно с ним конкурировать. В случае превышения 70 кПа будет достигнуто дополнительное убедительное преимущество, обусловленное тем, что в установках литья под низким пневматическим давлением из соображений техники безопасности предельное значение газового давления ограничивается величиной в 70 кПа. При создании электромагнитного давления нет ограничений, связанных с опасностью взрыва. Вероятно, такого повышения электромагнитного давления можно добиться дальнейшим увеличением высоты канала и приведением параметров электромагнитных систем в соответствие с ней.

Предварительные экспериментальные результаты

Установка с горизонтальным П-образным каналом, имеющим такой же «пережим» как в установке МДН-6А, и расщеплённым индуктором, была испытана в ФТИМС НАН Украины. Исследовались варианты работы установки, как без электромагнита, так и с электромагнитом, размещённым по традиционной схеме. Экспериментально установлено, что на обе части индуктора всегда должны быть поданы одинаковые напряжения, а равные мгновенные значения магнитных потоков в обоих магнитопроводах всегда должны иметь одинаковое направление, что соответствует «режиму насоса». При противоположных магнитных потоках ток в канале не индуцируется. Снятие напряжения с одной части индуктора без отключения его второй части тоже сопровождается исчезновением тока в канале. При этом вольтметры показывают на обеих частях индуктора одинаковые напряжения, а стрелки амперметров стоят почти на нуле. Это объясняется индуктивной связью частей индуктора через жидкометаллический виток. Из сказанного следует, что электрооборудование установки должно гарантировать только совместную работу частей расщеплённого индуктора и не допускать других способов их включения кроме «режима насоса».

Преимущества устройства с расщепленным индуктором

Помимо возможности значительного повышения давления предлагаемое устройство обладает рядом других преимуществ. Благодаря расположению металлопровода вне тигля создаётся возможность несколько снизить потери гидравлического напора при заливке под электромагнитным давлением (рис. 3, а) за счёт того, что нижняя плоскость подкокильной плиты будет находиться на уровне максимальной высоты зеркала расплава в тигле, в то время как при использовании МДН-6А эта плоскость располагается выше тигля. Иначе говоря, для заполнения литейной формы расплав потребует подняться примерно на 100-150 мм ниже, чем при использовании установки МДН-6А. При дозировании (рис. 3, б), наряду с экономией напора, сокращается расстояние от верхнего среза металлопровода до заливочной чаши литейной формы. Это очень важно, так как при вынужденном использовании длинного желоба струя приобретает высокую скорость и на входе в литейную форму захватывает воздух, что приводит к образованию воздушных пузырей в теле отливки.

Боковое расположение устьев канала практически устраняет турбулизацию поверхности расплава в тигле в связи с тем, что потоки расплава от устьев канала

направлены под углом 30-40° к его поверхности, в то время как в установке МДН-6А этот угол составляет 90°. Ожидаемое технологическое следствие этого состоит в снижении содержания водорода в расплаве [24].

Условия теплоотвода от электромагнитных систем значительно улучшаются по сравнению с установкой МДН-6А, поскольку они, во-первых, не подвергаются тепловому излучению от дна тигля, а во-вторых, благодаря расположению сбоку тигля облегчается теплоотвод от них за счёт естественной конвекции.

Выводы

- Магнитодинамическая установка МДН-6А может эффективно использоваться в ряде процессов литья, однако её широкому применению препятствует недостаточно высокое рабочее давление, составляющее всего 25 кПа.

- Проведенный анализ позволяет надеяться на то, что применение приведённого в статье нового принципа формирования рабочей зоны, сделает достижимым давление 50 кПа и более, вследствие чего появится возможность значительного расширения области применения магнитодинамических установок. Особенно это актуально для успешного конкурирования с технологией литья под низким пневматическим давлением.

- Принцип построения предлагаемого устройства может быть успешно применён в магнитодинамических установках, предназначенных не только для алюминиевых и цинковых сплавов, но также, например, для чугуна, медных и свинцовых сплавов.



Список литературы

1. А.с. 288183 СССР, МКИ Н 05 В 5/02. Индукционная канальная печь с железным сердечником / В. П. Полищук, М. Р. Цин. – Оpubл. 03.12.70, Бюл. № 36.
2. Магнитодинамические насосы для жидких металлов. / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 256 с.
3. Фикссен В. Н. Особенности литья под электромагнитным и газовым регулируемым давлением. / В. Н. Фикссен, В. П. Полищук // Литейное производство. – 1989. – № 8. – С. 18-19.
4. Получение отливок из алюминиевых сплавов с использованием электромагнитного давления. Процессы литья / В. Н. Фикссен, В. И. Дубоделов, Ф. М. Котлярский и др. – 1996. – № 4. – С. 64-72.
5. Фикссен В. Н. Тенденция к применению электромагнитных насосов для литья алюминиевых сплавов под низким регулируемым давлением / В. Н. Фикссен // Металл и литьё Украины. – 2004. – № 1-2. С. 27-30.
6. W. Fixsen, L. Ohm, V. Trefnjak. Elektromagnetisches Niederdruckgießen von Al-Legierungen. GIESSEREI. – 2007. – № 2. – P. 64-65.
7. W. Fixsen, L. Ohm, V. Trefnjak. Electro-magnetic low-pressure casting of Al alloys. Casting Plant & Technology International. – 2007. – № 2. – P. 38-39.
8. Фикссен В. Н. Приготовление, рафинирование и заливка алюминиевых сплавов под действием электромагнитных сил / В. Н. Фикссен // Металлургия машиностроения. – 2012. № 6. – С. 24-29.
9. Патент № 90327 Украина. Спосіб рафінування розплавів фільтруванням / В. І. Дубоделов, В. М. Фікссен, М. А. Слажневі др. // Оpubл. 26.04.2010. Бюл.
10. Jong-Moo Lee, Hyun-Suk Sim, V. Dubodelov, V. Fixsen and M. Slazhniev In-line Degassing Treatment of A356 Alloy using the Electromagnetic Melt Transferring Pump // Proceedings of the 12th International Conference on Aluminium Alloys, September 5-9, 2010, Yokohama, Japan © The Japan Institute of Light Metals.
11. Середенко В. А. Сплавление алюминия с трудно- и малорастворимыми компонентами в магнитодинамических печах / В. А. Середенко, В. И. Дубоделов, Е. В. Середенко // Технология лёгких сплавов. – 1999. – № 6. – С. 21-24.

12. А.с. 176184 СССР, НКИ 59а, 11, Электромагнитный индукционный насос / В. П. Полищук, М. Р. Цин. – Оpubл. 26.10.65, Бюл. № 21.
13. Пужайло Л. П. Вакуумирование и непрерывная разливка алюминиевых сплавов магнитодинамической установкой МДВ-4А-02 / Л. П. Пужайло, В. П. Полищук // ТЛС. – 1974. – № 2. – С. 90-92.
14. А.с. 942324 СССР, В 22 D 39/00. Канал магнитогидродинамического устройства / М. Р. Цин, В. П. Полищук, А. Ю. Хандогин. – Оpubл. 15.09.85, Бюл, № 34.
15. А.с. 1349872 СССР, В 22 D 39/00. Устройство для дозирования жидкого металла / В. А. Трефняк, Р. К. Горн, В. П. Полищук и др. – Оpubл. 07.11.87, Бюл, № 41.
16. А.с. 944779 СССР, МКИ В 22 D 18/04. Установка для литья под электромагнитным давлением / Ю. В. Моисеев, В. П. Полищук, А. В. Завилинский и др; опубл. 23.07.82, Бюл. № 27.
17. Верте Л. А. Магнитная гидродинамика в металлургии / Л. А. Верте. – М., «Металлургия», 1975. – 288 с.
18. Фикссен В. Н. Исследование электродинамического взаимодействия электромагнита с жидкометаллическим витком в установке МДН-6. Сб. – «Магнитодинамические установки для плавки, обработки и заливки литейных сплавов» / В. Н. Фикссен АН УССР. Ин-т пробл. литья, Киев, 1989. – С. 51-55.
19. Фарбман С. А. Индукционные печи для плавки металлов и сплавов / С. А. Фарбман, И. Ф. Колобнев. – М. : Металлургия, 1968. – 496 с.
20. Шерклиф Дж. Курс магнитной гидродинамики / Шерклиф Дж. – М.: изд-во «Мир», 1967. – 320 с.
21. Горн Р. К. Влияние распределения давления в активной зоне магнитодинамического насоса на его технологические характеристики / Р. К. Горн, В. П. Полищук, М. Р. Цин. – Таллинн: Сборник материалов к VII таллиннскому совещанию по электромагнитным расходомерам и электротехнике жидких металлов. – 1977. – С.13-19.
22. Патент № 108335 Україна МПК В22D 35/00, В 22D 39/00, F27D 11/00, H05B 6/02, H05B 6/34. Заливальний пристрій магнітодинамічного типу / В. М. Фікссен. – Оpubл. 10.04.2015, Бюл. № 7.
23. Электротехника. Терминология: Справочное пособие. – Вып. 3. – М. : Изд-во стандартов. – 1989. – 343 с.
24. Лакомская Л. М. Качество алюминиевого сплава, прошедшего обработку в МДН. / Л. М. Лакомская Л. М., Лакомский В. В. Сб. «Магнитодинамические установки для плавки, обработки и заливки литейных сплавов», АН УССР. Ин-т пробл. литья, Киев, 1989. – С. 97-100.

Поступила 12.05.2015

Вниманию авторов!

*Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объём статьи — не более **10 стр.**, рисунков — не более **5**.*

*Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов — формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.*

Статьи в редакции проходят научное рецензирование.