

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПЛАВИЛЬНЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ МИНИМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ КРУПНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ

Е.А. Коршунов, Д.Н. Гайнанов, В.Л. Бастриков, В.В. Фадеев, В.И. Лузгин, А.Ю. Петров, Ф.Н. Сарапулов, В.Г. Лисиенко, В.С. Третьяков
(ООО Фирма “ДАТА-ЦЕНТР”, Российская электротехническая компания, Уральский государственный технический университет – УПИ, г. Екатеринбург)

В статье рассмотрен вариант нового плавильного агрегата, в котором плавку шихты осуществляют в условиях вращения расплава в плавильной камере агрегата. Энергия на плавку шихты передается по принципу, который имеет место в широко распространенных тигельных индукционных электропечах средней частоты. Вращения расплава обеспечивается МГД-устройством. Плавильный агрегат назван многофункциональным плавильным агрегатом (МПА), поскольку, кроме свойственных тигельным индукционным электропечам функций, в агрегате могут выполняться ряд дополнительных функций. Разработанный МПА может, в частности, применяться для плавки разной оксидосодержащей шихты, оксиды которой в этой шихте рекомендуется восстанавливать не углеродистыми восстановителями, причем с затратой значительного количества энергии, а сильными металлическими восстановителями, например, кремнием или алюминием, причем со значительным выделением энергии.

По данным из технической литературы к миниметаллургическим предприятиям (ММП) относятся те заводы, на которых основную продукцию получают в пределах до 500 тыс. т в год. Многофункциональный плавильный агрегат (МПА), о котором пойдет речь в настоящей статье, наиболее подходит к ММП, объем перерабатываемой шихты на котором составляет до 100-150 тыс. т в год, при этом масса получаемой металлической и неметаллической продукции из шихты может превышать массу шихты.

Фактически МПА можно отнести к плавильным агрегатам, выплаваемым, например, чугун или сталь до 10 тонн в час, при подводимой мощности к агрегату в 5-7 МВт.

Выплавка стали до 10 т в час может осуществляться в электродуговых печах переменного тока с тремя угольными электродами, в электродуговых печах постоянного тока с одним верхним угольным электродом и с одним или несколькими подовыми электродами, в тигельных индукционных печах, которым может подводиться переменный ток промышленной частоты (50 Гц) и повышенной частоты.

Разработанный и запатентованный [1] МПА можно отнести к тигельной индукционной печи, в которой размещены ряд дополнительных устройств, позволяющих значительно расширить возможности тигельной индукционной электропечи.

Поскольку МПА во многом представляет собой тигельную индукционную электропечь, то все те главные преимущества, которые присущи этим печам, в частности, возможность перемешивать металл в процессе выплавки определенной марки металла, сохраняются и значительно усиливаются при плавке в МПА. Эффект перемешивания усиливается потому, что одно из дополнительных устройств в МПА представляет собой МГД-устройство, предназначенное приводить во вращение расплав в плавильной камере агрегата. Ниже сказано, что полезного еще дает вращение металла в плавильной камере агрегата.

В последние годы достигнут значительный прогресс в развитии индукционных плавильных агрегатов за счет создания энергонасыщенных индукционных тигельных печей (ИТП), работающих на средних частотах (150-2400 Гц). Однако с ростом частоты падает силовое воздействие электромагнитного поля и становится недостаточным для создания конвективных потоков металла.

Технологические возможности и эффективность индукционной плавки в тигельных печах в значительной мере определяются способом управления электромагнитными полями в рабочих объемах ИТП. На разных стадиях технологического процесса плавки необходимо осуществлять интенсивный нагрев металла, иметь возможность концентрировать тепловыделение в разных зонах рабочего объема ИТП, производить глубокое регулирование частоты электромагнитного поля, управляя силовым воздействием на расплав металла и активизируя конвективные потоки металла. Перечисленные режимы работы ИТП могут быть обеспечены специальными системами электропитания, которые строятся на основе многоэнергоканальных полупроводниковых преобразователей частоты, работающих в режиме формирования двухчастотного тока в обмотках ИТП [2].

На рис. 1 приведена структурная схема системы электропитания токами двух частот, на которой видно, что трехэнергоканальный преобразователь частоты нагружен секциями обмоток индуктора, скомпенсированными на средней частоте блоками конденсаторов ($C_{н1}$ - $C_{н3}$). Каждый инвертор (I_1 - I_3) работает автономно и формирует ток высокой частоты на резонансной частоте параллельно нагрузочного контура, а также ток низкой частоты методом фазовой модуляции. Кроме этого, получая питание на постоянном токе от общего выпрямителя, каждый инвертор осуществляет управление потоком энергии, подводимой к каждой секции индуктора ИТП. При этом выпрямитель (B) обеспечивает симметричное потребление электроэнергии по фазам питающей сети и низкий уровень гармонических составляющих в фазных токах за счет применения в зависимости от мощности 6-фазной, 12-фазной или 24-фазной схемы.

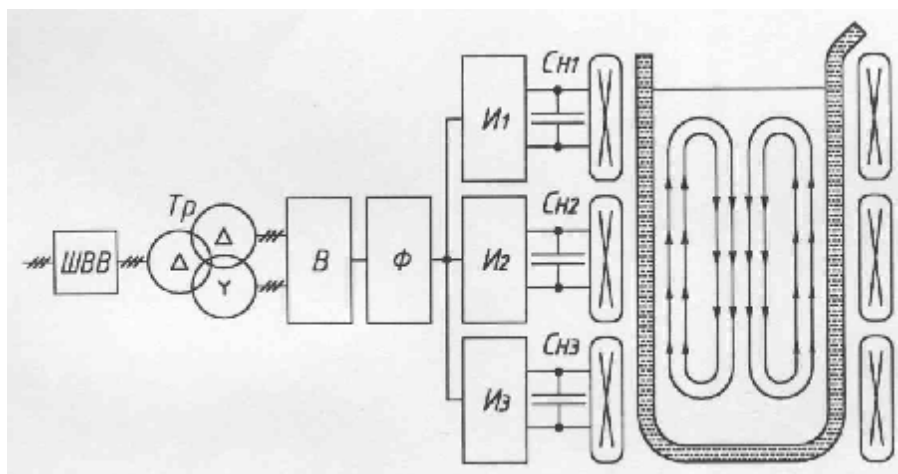


Рис. 1. Система двухчастотного электропитания ИТП с секционированным индуктором

Такие индукционные печи производятся фирмой ЗАО “РЭЛТЕК”, которые позволяют плавить до 10 тонн/час стали при подводимой мощности 5-7 МВт.

На рис 2 показана схема МПА. Позиция 4 на схеме обозначает плавильную камеру, поз. 5, 6, 7, 8 – тигельную часть МПА, поз. 14 – дополнительную камеру, поз.18 – верхнюю горизонтальную летку для слива металлической фазы, к которой может быть присоединен кристаллизатор ГМНЛЗ или металлопровод для подачи металла в кристаллизатор МНЛЗВ, поз. 19 – металлопровод для слива металлической фазы в ковш, поз. 20, 21 – донная летка для слива металлической фазы в ковш, поз.23, 24 – донная летка для слива шлака в ковш, поз. 26 – МГД-устройство, поз. 27, 29 – герметизируемая крышка с отверстиями, поз. 3, 15, 28 – огнеупорная футеровка.

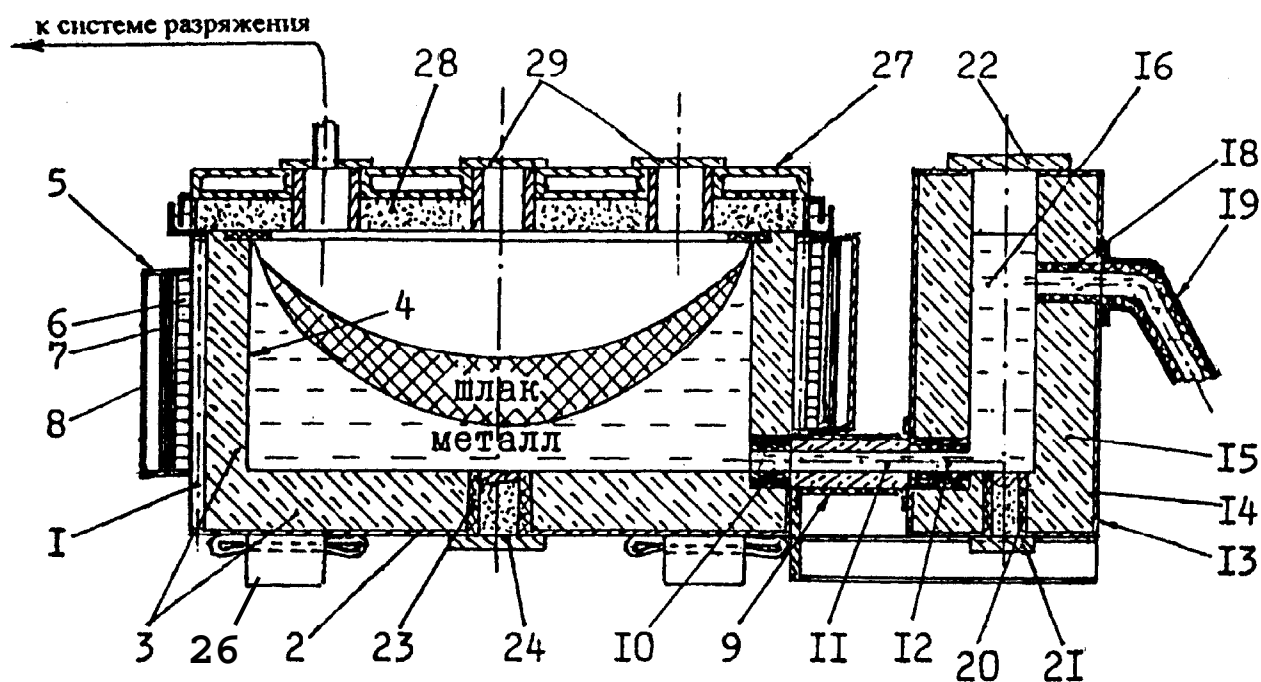


Рис. 2. Многофункциональный плавильный агрегат

Если посмотреть на профили плавильных камер на рис. 1 и 2, то можно заметить, что отношение высоты к диаметру на рис. 1 больше единицы, а на рис. 2 – меньше единицы.

Необходимость иметь в МПА указанное отношение меньше единицы вызвана иным его назначением – перерабатывать главным образом шихту, содержащую оксиды металлов. Обычные же тигельные индукционные электропечи, и многие дуговые электропечи как переменного, так и постоянного тока перерабатывают в основном металлический лом. Если же с металлоломом и вводится в эти печи какая-то часть оксидов, например, с ожеженными до 70-90% окатышами, то эта часть составляет незначительную величину.

Увеличенный диаметр плавильной камеры в тигельной части МПА необходим для образования в камере из металлического расплава лунки параболической формы, создаваемой за счет воздействия электромагнитного поля МГД-устройства, размещаемого на днище плавильного агрегата, и которому также необходим увеличенный диаметр плавильной камеры.

На рис. 2 показано рабочее состояние МПА, причем такое, когда в жидкой металлической лунке параболической формы имеется расплавленный шлак, образованный из оксидосодержащей шихты. Шлак может быть, например, из концентрата ильменита Якутского месторождения титаномагнетитов, в котором в основном два оксида – оксид титана (до 48-50%) и оксид железа (до 45-47%). Остальное – понемногу оксидов марганца, магния, кремния и др.

Лунка параболической формы из металла, например, из ферросиликотитана или из чистого железа, создается до начала подачи в лунку оксидосодержащей шихты, причем металл, в котором образуется лунка, расплавляется энергией от тигельной частью МПА. Образование же лунки в жидком металле обеспечивает МГД-устройство, которое этой лунке не дает исчезнуть, т.к. его электромагнитное поле обеспечивает необходимое число оборотов жидкого металла в плавильной камере. При диаметре плавильной камеры 2,4 м жидкий металл в камере желательно вращать со скоростью 25-30 оборотов в минуту. Все это составляет первый этап в организации передела какой-либо оксидосодержащей шихты.

Следующий этап – расплавление оксидосодержащей шихты в лунке параболической формы энергией, передаваемой от тигельной части МПА через металлический вращающийся расплав.

Далее наступает этап восстановления оксидов из шлакового расплава, который может наступить сразу, если металлический расплав будет представлять собой чугун. Углерод чугуна будет восстанавливать оксиды металлов из шлака и при этом будут требоваться

дополнительный расход энергии от тигельной части МПА. Если в чугуна не добавлять углерод и в качестве шихты вводить на расплав чистую железную руду или чистый железный концентрат, например, концентрат Качканарского ГОКа, то через определенное время чугуна превратится сначала в высокоуглеродистую сталь, затем в среднеуглеродистую и наконец в низкоуглеродистую сталь. Температуру металлического расплава при этом, за счет энергии от тигельной части МПА, надо будет повысить до 1500-1550°C.

Главное назначение МПА – на вращающейся металлической подложке расплавлять оксидосодержащую шихту, а затем часть её оксидов восстанавливать не углеродистыми восстановителями, при которых образуется газовая фаза, а сильными металлическими восстановителями, которые при восстановлении большинства оксидов не дают газовой фазы и восстановление сопровождается выделением тепла. С этого момента подача энергии от тигельной части МПА может быть уменьшена или прекращена совсем, если на восстановление оксидов будет тратиться сравнительно много металлического восстановителя, например, порядка 250-400 кг алюминия или кремния на тонну перерабатываемой шихты.

При восстановлении большинства оксидов металлическими восстановителями не образуется газовой фазы из восстановленного металла. Но газовая фаза из частично восстановленного оксида может иметь место, например, окись кремния (SiO) при температуре выше 1500°C. Есть, однако, оксиды, которые при восстановлении металлическим восстановителем дают газовую фазу, например, оксиды цинка и магния. Но газовая фаза при восстановлении этих металлов из оксидов не загрязняется другими газами и, после их удобного отвода из плавильной камеры МПА, может превращаться в ценные продукты – металлический цинк и металлический магний или чистый оксид магния (переклаз), который может быть получен после отвода чистого пара магния за пределы МПА.

Не из всякой шихты при восстановлении оксидов металлическими восстановителями можно получить продукт, который оправдал бы затраты на расход сравнительно дорогого металлического восстановителя. Однако есть значительное число оксидов, которые допускают восстановление металлов дорогими металлическими восстановителями с весьма значительным положительным эффектом. Алюминий, как восстановитель, дорогой металл, но после его превращения в оксид, который в конечном итоге может составлять основную часть конечного шлака, например, шлак с содержанием оксида алюминия до 80%, то такой шлак представляет собой ценный неметаллический продукт, пригодный для производства дорогого цемента или для производства глинозема. В случае реализации указанных продуктов затраты на алюминий тем более оправдываются.

На рис.3, в качестве примера, представлена структурная схема миниметаллургического предприятия (ММП), из которой видно, что можно получить на предприятии при переработке в МПА, например, ильменитового концентрата, полученного из Якутского месторождения титаномагнетитов. Технология переработки ильменитового концентрата имеет патентную защиту [3].

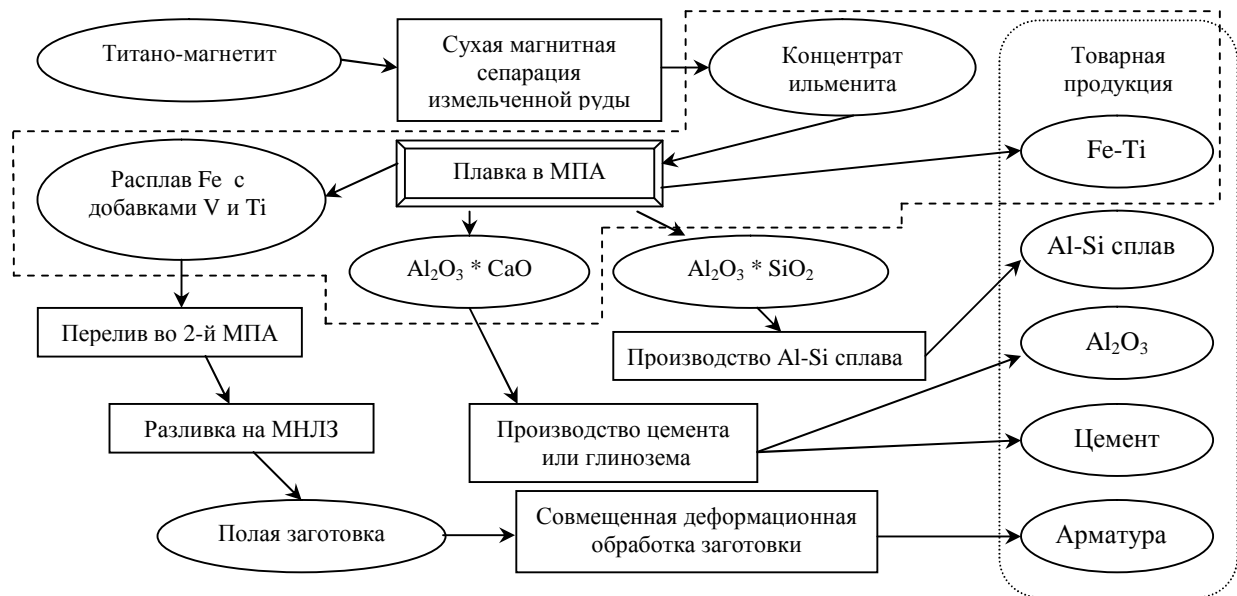


Рис. 3. Структурная схема миниметаллургического предприятия

Один из продуктов переработки ильменитового концентрата в МПА является безуглеродистое железо, из которого далее рекомендуется производить арматуру. Оксид железа в концентрате, также как и оксид титана, восстанавливается дорогим алюминием.

Из-за значительной разницы в стоимости титана и алюминия экономика на ММП получается положительной, хотя оксид железа восстанавливать алюминием невыгодно. Однако, при восстановлении железа из оксида алюминием получается ценное безуглеродистое железо, да еще и легированное ванадием и титаном. Если к такому железу добавить металлический хром в пределах от 10 до 20%, то можно получить сплав, из которого можно будут производить листовую или прутковую металлопродукцию с нержавеющими свойствами, близкую по свойствам к нержавеющей стали 04X18H10T. Экономические расчеты показывают, что если на ММП не производить нержавеющую металлопродукцию, то экономический эффект от реализации разработанных технологий составит не менее 200 долл. на каждой тонне перерабатываемого концентрата, а если производить нержавеющую металлопродукцию, то экономический эффект будут не менее 400 долл. на каждой тонне перерабатываемого ильменитового концентрата.

Ведение металлургических процессов в условиях вращения расплава в плавильной камере МПА позволяет:

1. Если из шлакового расплава металлы восстанавливают восстановителем, находящимся во вращающейся металлической фазе, то скорость восстановления этих металлов из оксидов увеличивается в результате следующего:

- поскольку площадь лунки металлической фазы параболической формы и эта площадь, на которой происходит массообмен между шлаком и металлом, больше площади пода плавильной камеры, причем может быть больше в 1,5-2,0 раза;

- поскольку на границе металл-шлак имеет место некоторое полезное проскальзывание между металлом и шлаком, вызываемое неодинаковым действием электромагнитного поля на электропроводную металлическую фазу и на малоелектропроводную шлаковую фазу;

- поскольку к известному эффекту многократного ускорения массообмена на границе металл-шлак, при восстановлении оксида восстановителем из металлической фазы, добавляется центробежный эффект, при котором более легкий восстановитель из металлической фазы стремится к границе металл-шлак, а более тяжелый оксид в шлаковой фазе стремится к границе шлак-металл. (Упомянутый известный эффект касается восстановления углеродом металлического расплава, например, углеродом расплава чугуна, оксидов железа в шлаковом расплаве на границе металл-шлак, когда, по утверждению Е.А.Капустина [4], скорость восстановления оксида железа может в 100 раз превышать скорость восстановления оксидов железа в доменной печи).

2. Вращение расплава в плавильной камере МПА, приводящее к возникновению центробежных сил в фазах с разным удельным весом, улучшает разделение этих фаз, способствует очистке металлической фазы от оксидных включений, позволяет более эффективно осуществлять отделение, например, штейна от шлака в случае разделительной плавки сульфидной руды.

3. При вращении расплава создаются благоприятные условия для переплава лома как в отношении ускорения плавки лома, так и в отношении удаления из расплава меди и серы.

4. Образующаяся при вращении металлической фазы лунка параболической формы позволяет исключить контакт шлаковой фазы по всей высоте стенок плавильной камеры МПА и, следовательно, не будет агрессивного воздействия шлака на огнеупорную футеровку стенок.

Выше было сказано, что МПА можно отнести к тигельным индукционным электропечами, но с расширенными возможностями. В дополнении к сказанному отметим еще некоторые полезные возможности МПА.

В отдельных узлах конструкции МПА могут вводиться изменения, которые позволяют перерабатывать разную шихту, например, разную руду или концентраты из этих руд, в том числе сульфидные руды или концентраты, лом черных и цветных металлов, причем иногда техпроцесс переработки шихты целесообразно вести взаимосвязано не в одном МПА, а в 2-х и даже в 3-х. В ряде случаев указанные изменения в конструкции отдельных узлов позволяют в МПА выполнять не только функции плавильного агрегата, но и быть важной составляющей в металлургическом комплексе, например, в комплексе по выплавке металла, его внепечной обработке и разливке на горизонтальной машине непрерывного литья заготовок (ГМНЛЗ) или на машине непрерывного литья заготовок вверх (МНЛЗВ), причем при объединении работы МПА с работой ГМНЛЗ или МНЛЗВ МПА выполняет роль промежуточного ковша, в котором создаются оптимальные условия для подготовки и подачи металла в кристаллизатор МНЛЗ.

В металлургической практике пробивает себе дорогу процесс непрерывной разливки металла в заготовки и совмещенной деформационной обработки (прокаткой, прессованием). Применение МПА позволяет совместить в комплексе плавку, разливку и деформационную обработку.

С применением МПА может быть организована отливка качественных полых трубных заготовок, в том числе из слоев металла разного химического состава, а также трубных заготовок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ), из которых можно прессовать трубы по технологии, освоенной на заводе “Свободный Сокол” в Липецкой области. Срок службы таких труб в 3-5 раз больше по сравнению со сроком службы стальных труб.

Конструкция МПА позволяет организовать постоянное удаление образующейся в плавильной камере металлической фазы и накопление шлаковой фазы, которую далее можно будет удалить из плавильного агрегата через центральную летку, оставляя в плавильной камере часть металлической фазы, на которой можно будет возобновить плавку шихты (после полного удаления шлаковой фазы и перекрытия центральной летки).

Список литературы

1. Патент РФ № 2207476. Плавильный агрегат./Коршунов Е.А., Сарапулов, Ф.Н., Буркин С.П., Тарасов А.Г., Арагилян О.А., Третьяков В.С./ Бюллетень № 8 от 27.06.2003.
2. Патент РФ №2231904. Устройство для индукционного нагрева и способ управления устройством для индукционного нагрева / Лузгин В.И., Петров А.Ю., Черных И.В., Шипицин В.В., Якушев К.В. / Бюллетень № 18 от 27.06.2004
3. Патент РФ № 2228967. Способ производства титаносодержащей лигатуры/ Коршунов Е.А., Тарасов А.Г., Лисиенко В.Г., Арагилян О.А., Третьяков В.С./ Бюллетень №14 от 20.05.2004.
4. Капустин Е.А. Перспективы альтернативных металлургических процессов. Сталь, № 8, 1998, С. 77-81.