

УДК 669.187.58

ПЛАВИЛЬНО-РАЗЛИВОЧНЫЙ КОВШ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

**В. А. Шаповалов, Ф. К. Биктагиров, А. П. Игнатов,
В. И. Колесниченко, О. В. Карускевич, Ю. А. Никитенко,
В. В. Якуша, А. В. Гнатушенко, А. Н. Гниздыло**

Приведены результаты разработки переносного плавильно-разливочного модуля. Показана принципиальная возможность создания агрегатов ковш-печь с индукционным нагревом для плавки, обработки и транспортировки жидкой стали.

Results of development of a portable melting-pouring module are given. The principal feasibility of creation of units of a ladle-furnace type with induction heating for melting, treatment and transporting of molten steel is shown.

Ключевые слова: ковш-печь; дуговой нагрев; индукционный нагрев; конструкция

В современном металлургическом производстве сталь, выплавленная в том или ином агрегате с целью доводки и рафинирования, подвергается обработке на установках типа ковш-печь. При этом для компенсации тепловых потерь в процессе данной и будущих обработок (вакуумирование, транспортировка, разливка) применяется дуговой нагрев, при котором тепло передается верхним слоям металла.

Поэтому для усреднения температуры по высоте ковша, как правило, используют донную продувку металла аргоном с соответствующим техническим исполнением (аргонопровод, пористые вставки, регулирующая и контролирующая аппаратура и т. д.).

Особенностью дугового нагрева является местный подэлектродный перегрев расплава, приводящий к угару легирующих элементов, а также высокий уровень тепловых нагрузок на свод и верхний пояс ковша, способствующие преждевременному износу футеровки.

Для соблюдения режимов разливки и обеспечения высокого качества получаемой стальной заготовки температуру металла в сталеразливочном ковше необходимо поддерживать в определенных (довольно узких) пределах. Чрезмерное понижение температуры металла в ковше приводит к зарастанию разливочного стакана, а перегрев металла над температурой разливки — к сокращению срока службы ковша и необоснованным энергозатратам.

При дуговом нагреве с учетом его особенностей обеспечить равномерную и заданную температуру металла по всему объему ковша довольно сложно. С этой точки зрения предпочтительным является

индукционный нагрев, при котором возможна плавная регулировка мощности нагрева, а металл в ковше интенсивно перемешивается за счет электромагнитных сил, обеспечивая однородность температурного поля.

Кроме того, при индукционном нагреве можно совмещать во времени операции нагрева и вакуумирования, что положительно сказывается на себестоимости металлургической продукции.

Что касается наведения рафинировочного шлака в ковше при индукционном нагреве, то для этого можно использовать тот же электродуговой или электро-шлаковый нагрев, но значительно меньшей мощности, по сравнению с чисто электродуговым нагревом всего объема ковша, применяют и газовый обогрев, в том числе так называемыми факельно-шлаковыми горелками [1].

Ковш-печь с индукционной или гибридной схемой нагрева позволяет обрабатывать стали с заданной температурной скоростью, сокращать время обработки, а температуру металла поддерживать в точно заданных пределах. Индукционный нагрев можно использовать и для работы сталеразливочного ковша в режиме «миксера», например при ожидании его подачи на позицию разливки или в случае сбоя цикла разливки.

При создании такого агрегата необходима разработка конструкции ковша с возможностью его транспортировки с позиции на позицию, т. е. с разделением классической схемы «индукционная тигельная печь» на две независимые единицы — стационарный нагреватель и мобильный ковш. В этом случае неводоохлаждаемый корпус ковша должен быть «прозрачным» для электромагнитного поля. Существующие разработки предусматривают изготовление корпуса из ме-

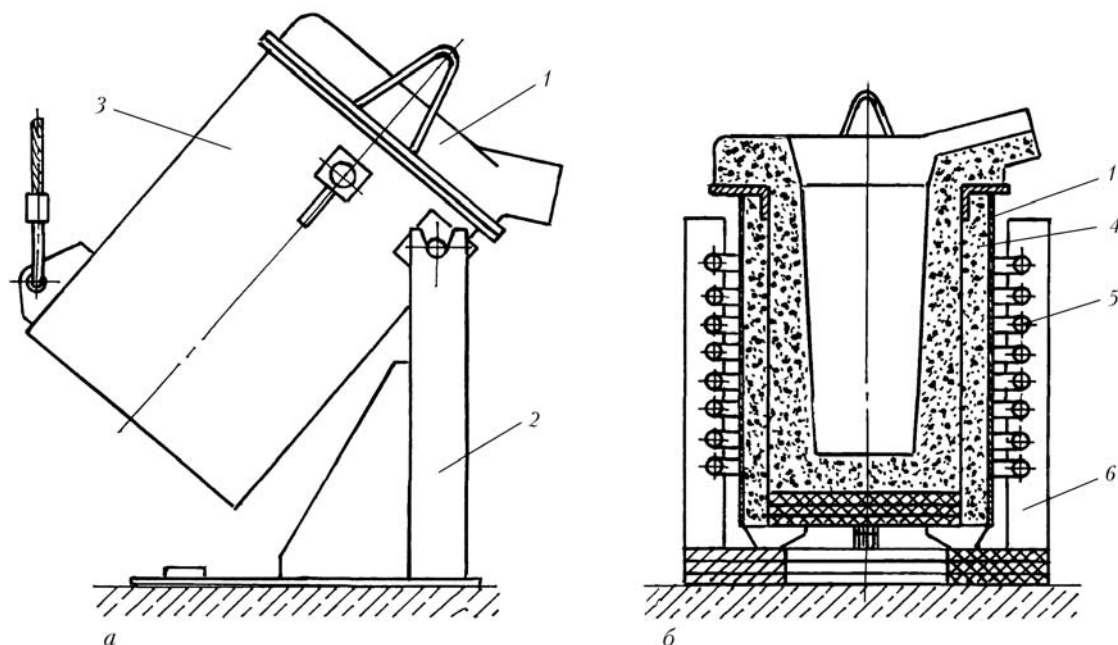


Рис. 1. Схема лабораторного плавильно-разливочного модуля (а) с индукционным нагревом металла в ковше-печи (б): 1 — ковш; 2 — механизм наклона; 3 — «стакан»; 4 — футеровка; 5 — индуктор; 6 — стойки для крепления индуктора

таллических немагнитных материалов, например нержавеющей стали или титана, что, однако, приводит к существенному увеличению стоимости ковша и не исключает частичного экранирования электромагнитного поля, а также потерь мощности.

В патенте [2] предложено корпус индукционного ковша, кроме донной и верхней частей, изготавливать из неметаллических материалов (огнеупорных бетонов). Такие ковши, однако, могут применяться преимущественно при разливке легкоплавких металлов, а для сталеплавильного производства малоприспособны. Поэтому потребовалось создание плавильно-разливочного модуля с индукционным нагревом, позволяющего разделить нагреватель и ковш, характеризующийся высокой эксплуатационной прочностью корпуса.

За основу разработки взята конструкция корпуса ковша в виде металлического каркаса типа «белые колесо». Отдельные элементы такого каркаса представляют собой пакеты из электрически изолированных полос немагнитной стали, жестко скрепленных между собой, толщиной менее глубины

проникновения тока, наводимого индукционным нагревателем.

Пространство между металлическим каркасом заполняется огнеупорным материалом, формирующим тигель ковша. Благодаря наличию металлического каркаса такой ковш имеет высокую прочность, при этом сам корпус практически не экранирует электромагнитное поле индуктора [3].

Для принципиальной проверки работоспособности указанного ковша разработано и создано лабораторное оборудование (рис. 1). С учетом имеющегося источника питания (машинного преобразователя частотой 8 кГц и мощностью 100 кВт) выбраны следующие геометрические параметры ковша: внутренний диаметр — 120...150 мм; высота — 400 мм; футеровка — набивная магнезитовая; толщина футеровки — 30...50 мм; масса жидкого металла — до 30 кг. Кольцевой многовитковый индуктор изготавливали из медной трубки в виде спирали. Индуктор не связан с ковшом и прикреплен к несущим стойкам. В лабораторных условиях слив жидкого металла из ковша осуществляли через носок путем его опрокидывания на специальном разливочном модуле с механизмом наклона установленного в «стакан» ковша под углом 90° (рис. 1, б). Общий вид такого плавильно-разливочного модуля показан на рис. 2.

В процессе работы ковш, предварительно заполненный выплавленным металлом, устанавливали внутри индуктора. Подавали питание на индуктор и осуществляли нагрев металла до требуемой температуры с одновременным его легированием и рафинированием.

После достижения заданной температуры и завершения технологических операций отключали питание индуктора, ковш извлекали из него и перемещали на позицию разливки, где и происходил слив металла в изложницу. При необходимости перед этим скачивали шлак.



Рис. 2. Общий вид плавильно-разливочного модуля: 1 — индуктор; 2 — ковш; 3 — разливочный модуль

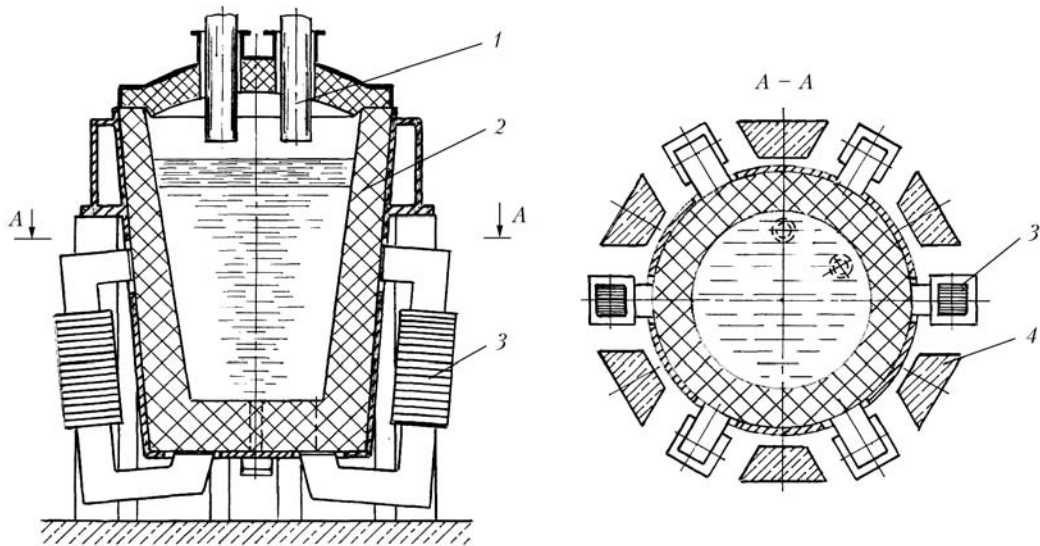


Рис. 3. Схема гибридного индукционного ковша-печи с магнитопроводами: 1 — дуговой нагреватель; 2 — ковш; 3 — магнитопровод; 4 — опора ковша

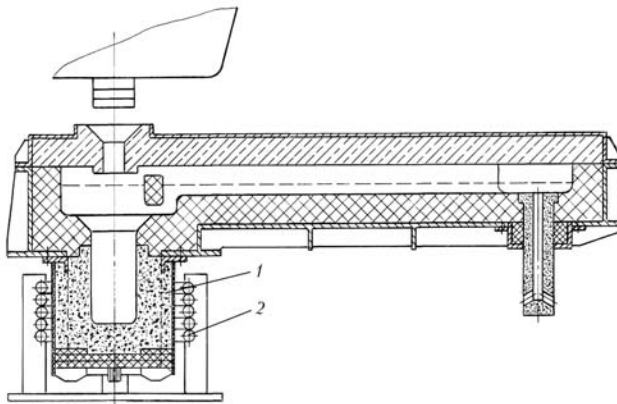


Рис. 4. Схема индукционного нагрева в промежуточном ковше: 1 — нагревательный узел; 2 — индуктор

Проведенные испытания с изменением режимов нагрева и марок обрабатываемой стали показали полную работоспособность и безопасность разработанной конструкции. Созданная технологическая схема и оборудование позволяют не только выдерживать расплав при определенной температуре для проведения металлургических операций, но и с учетом запаса мощности индукционного источника расплавлять шихтовую загрузку без снижения несущей способности ковша [4].

Таким образом, в перспективе возможно внедрение различных вариантов конструкций ковша и индуктора в зависимости от объема. Предварительные расчеты показали, что для ковшей вместимостью 10... 20 т предпочтительным является стационарный кольцевой индуктор, а для ковшей вместимостью более 50 т — стационарная система магнитопроводов с индивидуальными индукторами (рис. 3). При этом с целью стыковки магнитопроводов в корпусе ковша необходимо предусмотреть наличие специальных «окон», прозрачных для электромагнитного поля.

Кроме того, корпус ковшей с индукционным обогревом может иметь грушевидную форму для уменьшения тепловых потерь, в том числе с зеркала

металла, и улучшения перемешивания металлической ванны. Грушевидная форма является более предпочтительной и с точки зрения распределения напряжений в кожухе ковша.

Индукционный нагрев можно использовать и для поддержания заданной температуры металла в промежуточном ковше (рис. 4), также предусматривается разделение нагревательного узла и стационарно установленного индуктора.

На основе проведенных исследований и анализа литературных источников можно сделать вывод о том, что применение индукционного нагрева переносного агрегата ковш-печь позволяет усреднить и плавно регулировать температуру металла во всем объеме; сократить длительность обработки металла в 2 раза; совместить операцию нагрева с обработкой металла вакуумом и шлаками, продувкой газом, рафинированием и долегированием; снизить угар металла и легирующих вследствие исключения локального перегрева металла; сократить потребление электроэнергии на дополнительный перегрев металла; продлить срок службы ковша и сэкономить энергоузоры; уменьшить техногенную нагрузку на окружающую атмосферу.

1. Дудко Д. А., Крутиков Р. Г., Прохоренко К. К. Комплексное улучшение качества стальных слитков. — Киев: Техника, 1969. — 180 с.
2. Пат. 4618964 US, МПК Н 05 В 5/16. Ladle or tundish / H. G. Larsson, E. Ewstman, A. Ostlund. — Publ. 21.10.1986.
3. Пат. 36318 Україна, МПК В 22 D 41/005. Пристрій для нагріву, транспортування і розливу рідкого металу / Б. Є. Патон, В. О. Шаповалов, В. І. Колесніченко та ін. — Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.
4. Ковш-печь с индукционным нагревом / В. А. Шаповалов, Ф. К. Биктагиров, В. И. Колесниченко и др. // Ключевые проблемы развития электрометаллургической отрасли: II междунар. науч.-техн. конф. (Киев, 23–24 апреля 2009 г.). — Киев, 2009. — С. 44.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Поступила 18.01.2010