

УДК 669.18 : 621.746 : 537.84

Дубоделов В. И., Смирнов А. Н., Погорский В. К., Горюк М. С.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША

Непрерывная разливка стали на сегодня является и в обозримом будущем останется основным технологическим переделом в мировой металлургии. Однако даже в таком пространственном и хорошо освоенном технологическом процессе имеются определенные сложности, которые невозможно полностью разрешить только за счет усовершенствования конструкции отдельных узлов, повышения культуры производства и степени его автоматизации. Кроме того, растущие требования к увеличению производительности процесса, повышению качества продукции, максимально возможному приближению получаемой непрерывнолитой заготовки к виду конечного продукта, минимизации ресурсозатрат и вредного воздействия на окружающую среду, обеспечению гибкости производства, что отражается в возможности выпуска малых партий металлопродукции и быстрой смены номенклатуры товара, ставят вопрос о необходимости корректировки и даже изменения подхода к технологии, обуславливают активную разработку и внедрение новых наукоемких технических решений. Особую остроту указанные аспекты приобретают в металлургии Украины ввиду специфики развития, существующей структуры и места, занимаемого этой отраслью в экономике страны.

К основным недостаткам существующих технологий непрерывной разливки стали можно отнести следующие [1, 2], связанные непосредственно с состоянием жидкого металла:

1) нестабильность температурных режимов разливки стали, что вызвано относительно длительным временем пребывания расплава в промежуточном ковше и колебаниями температуры поступающей в промковш жидкой стали, особенно при смене сталеразливочного ковша, и приводит к дефектам поверхности и структуры непрерывнолитой заготовки [3];

2) управление выдачей расплава в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с помощью недостаточно надежных механических устройств – стопорных или шибберных затворов, контактирующих с жидкой сталью и требующих наличия системы их защиты инертным газом для недопущения вторичного окисления металла;

3) разливка стали из промковша под высоким металлостатическим напором (уровень расплава в промежуточном ковше – 0,7-1,1 м), что обуславливает поступление стали в кристаллизатор МНЛЗ с высокой линейной скоростью, способствует большой глубине жидкометаллической лунки, приводит к захвату газов и неметаллических включений в тело кристаллизующегося слитка и требует применения сложных и дорогостоящих устройств – систем электромагнитного торможения металла (EMBR) [4];

4) подвод жидкой стали в кристаллизатор МНЛЗ узкой струей по его оси, что при производстве тонкого широкого сляба требует применения специальных конструкций погружного сталеразливочного стакана (конструкция типа «бобровый хвост») и кристаллизатора (в верхней части – чечевицеобразная полость) [5].

Указанные недостатки могут быть устранены на стадии промежуточного ковша в случае использования в качестве такого агрегата магнитодинамического миксера-дозатора жидкого чугуна и стали конструкции Физико-технологического института металлов и сплавов Национальной академии наук Украины (ФТИМС НАН Украины) (рис. 1) [6]. Такие многофункциональные электротехнологические устройства для литейного производства и металлургии не имеют прямых аналогов в мире. Магнитодинамический миксер-дозатор представляет собой индукционную каналную печь, дополнительно оснащенную электромагнитом.

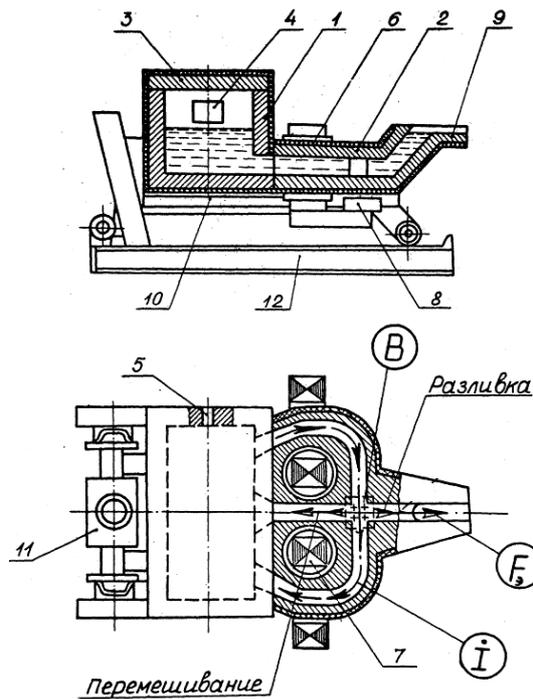


Рис. 1. Схема магнитодинамического миксера-дозатора для чугуна и стали:

1 – тигель; 2 – индукционная часть; 3 – крышка; 4 – окно для чистки шлака; 5 – летка аварийного слива металла; 6 – обмотка индуктора; 7 – магнитопровод индуктора; 8 – электромагнит; 9 – сливной носок; 10 – рама; 11 – механизм наклона; 12 – основание; *I* – электрический ток; *B* – индукция магнитного поля; *F_э* – электромагнитная сила

Благодаря этому обеспечивается независимое управление как температурой расплава (за счет регулируемого нагрева электрическим током, возбуждаемым индуктором), так и его движением (перемешиванием и разливкой) под действием электромагнитной силы, которая является результатом взаимодействия индукционного тока с внешним магнитным полем, создаваемым электромагнитом.

Целью работы является исследование существующих технологических процессов непрерывной разливки стали, а также исследование применения магнитодинамического промежуточного ковша.

Прототипом разрабатываемого специалистами ФТИМС НАН Украины и Донецкого национального технического университета Министерства образования и науки Украины (ДонНТУ МОН Украины) магнитодинамического промежуточного ковша (МД-ПК) для непрерывной разливки стали является магнитодинамическая установка МДУ-26-С-6,3-2 полной емкостью 10 тонн стали и электрической мощностью 600 кВт. На сегодня этот агрегат успешно используется в качестве миксера-дозатора жидкой стали в технологии электрошлаковой наплавки прокатных валков массой 20 и 50 тонн (технология разработана в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и внедрена на ЗАО «НКМЗ»).

Оценивая существующие проблемы непрерывной разливки стали, можно отметить следующие технические преимущества разрабатываемого МД-ПК по сравнению с применяемыми в металлургии промежуточными ковшами традиционной конструкции: 1) управляемый индукционный перегрев расплава перед выдачей в кристаллизатор МНЛЗ (разливка стали непосредственно из зоны нагрева – индукционного канала); 2) бесконтактное управление движением жидкого металла (его перемешиванием и выдачей в кристаллизатор МНЛЗ) под действием электромагнитных сил без применения стопоров и шиберов; 3) малонапорная разливка стали (низкий уровень расплава на сливном носке) с регулируемым массовым расходом; 4) возможность подвода жидкого металла в кристаллизатор МНЛЗ по всей его ширине.

Ожидаемые экономические преимущества от использования МД-ПК для непрерывной разливки стали состоят в следующем: стабилизация работы МНЛЗ, повышение ее производительности на 2–4 % при увеличении выхода годного литья на 0,5–1%; исключение необходимости применения дорогостоящих систем торможения потоков стали в кристаллизаторе МБЛЗ; стабилизация тепловых и гидродинамических режимов разливки, сокращение угара компонентов на 2–5 %, экономия огнеупоров на 10–15 %; исключение вторичного окисления металла, уменьшение пористости заготовок в 2–3 раза, количества неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках в 1,5–2 раза; улучшение условий труда и экологии.

На сегодня, по нашему мнению, наиболее реальными и перспективными областями применения МД-ПК являются технологии полунепрерывного литья стальных заготовок в условиях металлургических микро- и мини-производств, а также производство тонкого сляба на литейно-прокатных модулях. Так, специалистами ДонНТУ МОН Украины и ФТИМС НАН Украины разработан технический проект комплекса полунепрерывного литья стали (рис. 2).

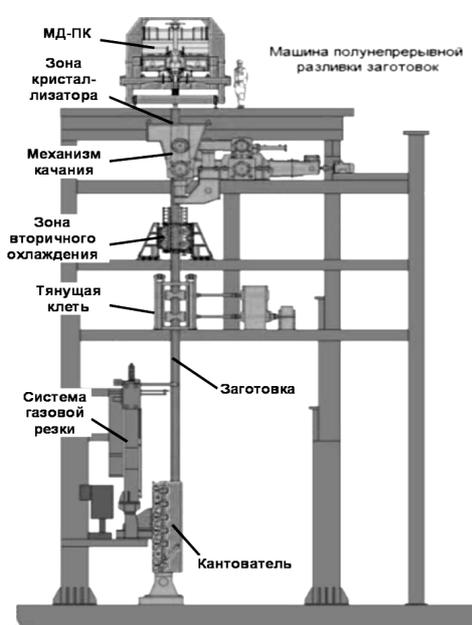


Рис. 2. Комплекс полунепрерывной разливки стали с использованием МД-ПК

В Украине существует достаточно большое количество электросталеплавильных цехов, входящих, как правило, в систему обеспечения металлопродукцией крупных машиностроительных предприятий (в том числе в системе «Центролит»). В последние 10–15 лет такие электросталеплавильные цехи во много раз снизили свои объемы производства, что объясняется целым рядом объективных причин. При этом в условиях крупномасштабного производства (металлургические комбинаты с полным циклом) достаточно трудно предлагать широкий марочный сортамент сталей потребителям малых партий металлопродукции. Поэтому для производства небольших партий качественных и высококачественных марок сталей весьма актуальным представляется использование концепции металлургических микро- и мини-заводов, обеспечивающих реализацию продукции от нескольких тонн. Характерной чертой таких предприятий является их небольшая производительность (10–100 тыс. т стали в год) при сравнительно малой массе плавки (5–25 т), что существенно влияет на выбор рациональных технологических схем внепечной обработки и разливки металла. Кроме того, наличие МД-ПК делает технологический процесс более гибким, так как имеется возможность оставлять в промковше небольшой запас металла (1,0–1,5 тонны), проводить в нем операции плавления твердой шихты, доводки жидкого сплава по химическому составу и температуре.

Основные технические характеристики комплекса представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики комплекса полунепрерывной разливки стали

Объем разливки, тыс. тонн в год	до 100
Разливаемые марки стали	Качественные, легированные и высоколегированные
Скорость литья, м/мин	0,1–0,4
Тип и сечение отливаемой заготовки, мм	Сортовая – ■100–200; Блюмовая – ■220–400; Комбинированная – ■220–400; ●200–400
Тип машины	Вертикальная
Число ручьев	1
Вместимость МД-ПК, тонны	10,0
Вторичное охлаждение	Водоструйное
Способ резки заготовок на мерные длины	Газовая

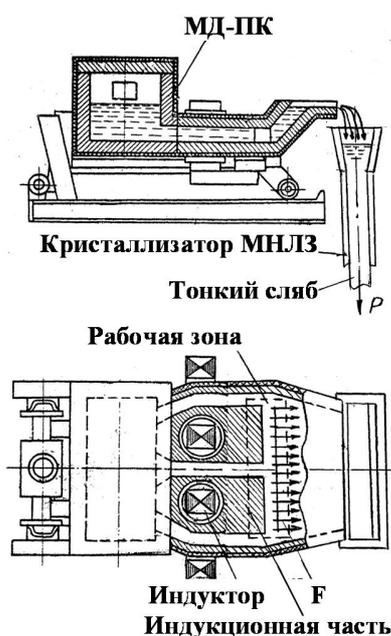


Рис. 3. Принципиальная схема интегрированного узла «промежуточный ковш – кристаллизатор» для непрерывного литья тонкого сляба на ЛПМ:

F – электромагнитная сила, обеспечивающая рассредоточенную подачу жидкой стали в кристаллизатор; P – направление вытягивания заготовки с последующим ее мягким обжатием

Разработка планируется к внедрению на машиностроительных предприятиях и литейных центролитах, что обусловлено наличием у них электропечей для плавки стали, отсутствием дефицита электроэнергии в Украине, потребностью в расширении спектра выпускаемых в Украине ограниченных партий высококачественных марок стали. Сегодняшняя потребность украинской промышленности в таком оборудовании – 10–20 комплексов.

Ожидаемые технико-экономические показатели проекта:

- расширение отечественного сортамента высококачественных сталей;
- обеспечение украинских предприятий машиностроительного комплекса необходимыми заготовками;
- повышение выхода годного литья до 94–97 % при переходе на полунепрерывную разливку по сравнению с выходом годного 78–82 % при переделе в слитки;

- снижение угара основных и легирующих компонентов сплава на 2–5 %;
- экономия огнеупорных материалов на 10–15 %;
- уменьшение количества вредных выбросов на производстве и в окружающую среду;
- увеличение производительности труда на 7–10 %;
- создание новых рабочих мест.

По предварительным оценкам, экономический эффект от внедрения новой технологии и оборудования составит около 80 долларов США на 1 тонну изготовленной стали. Общий срок окупаемости проекта – около 4,5 лет с начала работ.

Другим перспективным направлением применения МД-ПК является его использование как одного из звеньев в составе литейно-прокатных модулей (ЛПМ) для непрерывной разливки стали на тонкий сляб. Разработка подобных литейно-прокатных комплексов оборудования и сопутствующих технологий ведется уже более 20 лет и обусловлена стремлением производить металлоизделия, максимально приближенные по геометрии к конечному продукту, а таковым является лист, на который уже сейчас приходится более 60 % всего объема производства стальной продукции [7]. В таких агрегатах органично объединены: процесс непрерывной разливки стали на заготовку и ее последующая горячая прокатка.

В целом схема процесса представляет собой следующую технологическую цепочку: «выплавка стали в дуговой печи (конвертере) → доводка стали на установке «ковш-печь» → непрерывная разливка стали на ЛПМ на сляб толщиной 50–70 мм → мягкое обжатие заготовки → горячая прокатка заготовки на ЛПМ → холодная прокатка заготовки на соответствующих прокатных станах».

Что касается места МД-ПК в этих технологиях, то речь, прежде всего, следует вести о ключевом элементе оборудования, обеспечивающем перевод расплава из жидкого в твердое состояние – специализированной адаптированной интегрированной системе «промежуточный ковш – кристаллизатор» (рис. 3). И в этом случае МД-ПК способен решить основные недостатки существующих, в том числе зарубежных, ЛПМ, в частности, обеспечить управление температурой разливки стали в узком допустимом диапазоне и стабильный рассредоточенный подвод расплава по всей ширине кристаллизатора, что позволяет кардинально удешевить и упростить его конструкцию и эксплуатацию без потерь для качества продукции и производительности процесса.

При реализации такого технологического процесса достигаются следующие технико-экономические преимущества:

- повышение коэффициента использования металла (для получения 1 тонны холоднокатаного листа с применением ЛПМ достаточно 1,10–1,12 тонны жидкого металла, в то время как при слитковом переделе этот показатель составляет 1,40–1,50 тонны расплава на 1 тонну листовой продукции, а при прокатке толстого сляба – 1,25–1,30 тонны жидкой стали на 1 тонну готового листа);

- снижение в 3–4 раза энергопотребления при производстве стального листа на операциях прокатки (с 1,8–2,1 ГДж/т при получении листа из толстого сляба до 0,5–0,7 ГДж/т для листа из тонкого);

- уменьшение в 10–15 раз потерь металла, связанных с образованием окалины при окислении заготовки в течение периодических циклов нагрева-охлаждения заготовки на стадиях прокатки (с 8–10 кг/м² при производстве листа из толстого сляба до 0,6–0,8 кг/м² при изготовлении листа из тонкого);

- увеличение в 4–5 раз производительности труда персонала;

- уменьшение в 5–10 раз выбросов парникового газа в окружающую среду.

В настоящее время специалисты ДонНТУ МОН Украины и ФТИМС НАН Украины совместно с представителями крупных машиностроительных предприятий проводят предварительную техническую проработку проекта по созданию отечественного ЛПМ с использованием МД-ПК.

Если же рассматривать более отдаленную перспективу применения магнитодинамического промежуточного ковша для процессов непрерывной разливки стали, то наиболее интересными направлениями видятся технологии прямого получения стального листа, ленты и полосы из расплава по методу валковой разливки (рис. 4, а) и непрерывная разливка стали на горизонтальных МНЛЗ (рис. 4, б).

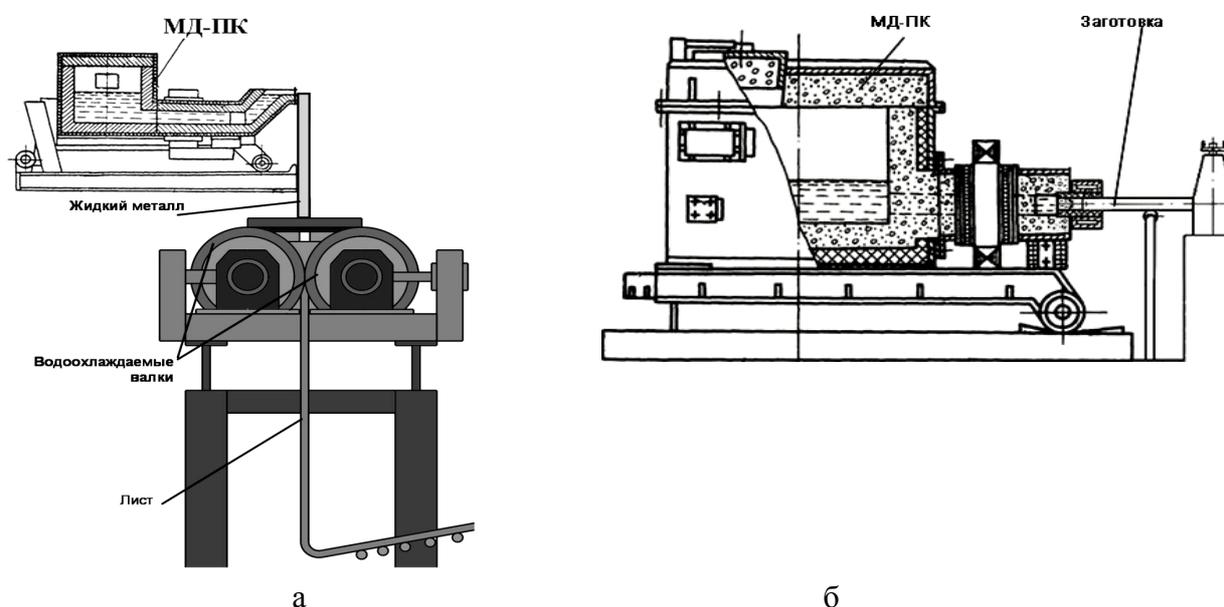


Рис. 4. Перспективные схемы применения МД-ПК в процессах непрерывной разливки стали: а – прямое получение стального листа (ленты, полосы) из расплава по методу валковой разливки; б – непрерывная разливка стали на горизонтальной МНЛЗ

ВЫВОДЫ

Рассмотрены недостатки существующих процессов непрерывной разливки стали. Для их устранения предлагается использовать магнитодинамический проковш как составной элемент МНЛЗ. Наиболее перспективными направлениями использования магнитодинамического проковша на сегодня являются технологии полунепрерывной разливки качественных марок стали небольшими партиями в условиях металлургических микро- и мини-производств, а также производство тонкого сляба на литейно-прокатных модулях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Процессы непрерывной разливки / Смирнов А. Н., Пилюшенко В. Л., Минаев А. А. и др. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 536 с.
2. The magnetodynamic tundish for continuous casting of steel / V. Dubodelov, A. Smirnov, V. Pogorsky, M. Goryuk // Proceedings of the 5th International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials «EPM 2006». – October 23–27, 2006. – Sendai, Japan. – P. 114–119.
3. Automatic Control of Molten Steel Temperature in Tundish and Application to Stainless Steel Casting / M. Mabuchi, Yu. Yoshii, Ts. Nozaki et al. // Kawasaki Steel Giho. – 1985. – V. 14. – № 4. – P. 365–371.
4. Эйдем М. Применение устройств электромагнитного перемешивания (EMS) и установок электромагнитного торможения (EMBR) при производстве стали / М. Эйдем, Х. Хакль, С. Коллберг // Труды международной конференции «Черная металлургия России и стран СНГ в 21 веке». – Том 1. – М. : Металлургия, 1994. – С. 231–238.
5. Смирнов А. Н. Новые тенденции рынка изостатически прессуемых огнеупоров для непрерывной разливки стали / А. Н. Смирнов // Металл. – 2007. – № 10. – С. 46–52.
6. Применение магнитодинамических миксеров-дозаторов черных металлов в технологических процессах обработки и разливки стали / Дубоделов В. И., Погорский В. К., Горюк М. С. и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 8. – С. 68–72.
7. Смирнов А. Н. Тенденции развития и применения листовых сталей в автомобилестроении / А. Н. Смирнов, И. В. Лейрих, К. Е. Писмарев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк : ДонНТУ. – 2007. – Вип. 9 (122). – С. 12–18.