



УДК 666.76:621.746.328.3

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОПРОВОДКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВКИ НА РАБОТУ СОРТОВЫХ МНЛЗ*

Приведен опыт освоения технологии непрерывной разливки на сортовых МНЛЗ на Челябинском металлургическом комбинате и Первоуральском новотрубном заводе. Рассмотрено влияние геометрии погружаемого стакана и стакана-дозатора в комплексе со стартовыми настройками технологических параметров МНЛЗ на запуск ручья. Даны рекомендации по повышению надежности работы сортовой МНЛЗ в период запуска и во время разливки сортовых заготовок.

Ключевые слова: МНЛЗ, непрерывная разливка, промежуточный ковш, погружаемые стаканы, стаканы-дозаторы, К-старт.

За последние 10 лет в России и странах СНГ запущено множество сортовых МНЛЗ. В период освоения технологии производства непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) возникают трудности старта ручьев, связанные с геометрией металлопроводки и настройками МНЛЗ. Это, в свою очередь, снижает производительность и увеличивает время выхода на проектную мощность сталеплавильного цеха. За период освоения технологии производства НЛЗ на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК) с 2004 по 2007 г. и Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ) с 2011 по 2012 г., по статистическим данным, на третьем месте по потерям ручьев — потери, связанные со стартом ручьев. Проблема была решена за счет использования и внедрения новых автоматических средств запуска ручья и совершенствования дизайна огнеупорной металлопроводки промежуточного ковша — стопора-моноблока, стакана-дозатора и погружаемого стакана.

Практически все современные сортовые МНЛЗ имеют функцию, при помощи которой первое наполнение кристаллизатора может контролироваться автоматически по специально заложенному алгоритму. Преимуществом такой системы является раскрытие стопора в один и тот же момент, а ее недостаток — это неспособность системы обнаружить какие-ли-

бо отклонения в объеме поступающей стали (слишком быстрое или слишком медленное) и неспособность автоматики реагировать на это должным образом. На некоторых металлургических предприятиях автоматический старт ручья используется постоянно, но требует выполнения следующих условий.

1. Температура стали в промежуточном ковше должна соответствовать требованиям технологии.

2. Жидкотекучесть стали должна соответствовать требованиям технологии.

3. Должен быть обеспечен равномерный нагрев всей футеровки промежуточного ковша.

4. Должен быть обеспечен равномерный нагрев погружаемых стаканов, стаканов-дозаторов и стопоров-моноблоков.

5. Должно быть обеспечено минимальное время от момента отключения нагрева промежуточного ковша до открытия шибера на сталеразливочном ковше.

6. Геометрия и качество металлопроводки промежуточного ковша должны обеспечивать надежное регулирование потока металла из промежуточного ковша в кристаллизатор.

Использовать функцию автоматического наполнения кристаллизатора на старте ручья нецелесообразно, если хотя бы одно из условий не выполняется на практике. Поэтому для надежного старта ручья первое наполнение кристаллизатора жидким металлом производится в ручном режиме.

За рубежом погружаемый стакан, который можно менять во время разливки, называют «submerged entry shroud» (SES, рис. 1, а), а цельный погружаемый стакан со стаканом-дозатором, который невозможно заменить, —

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (3–4 апреля 2014 г., Москва).



С. А. Ботников

E-mail: botnikov_sa@chf-trubodetal.ru

«submerged entry nozzle» (SEN, рис. 2, б). Погружаемый стакан SES устанавливают на стакан-дозатор (nozzle) с использованием специального держателя (манипулятора), закрепленного к промежуточному ковшу. За рубежом распространены в основном стаканы типа SEN, в то время как отечественные металлурги отдают предпочтение стаканам типа SES, так как работа с такими стаканами проще и не требует высокой культуры производства. Некоторые предприятия в России освоили технологию разливки на стаканах типа SEN (например, ПНТЗ). В 2011 г. на ПНТЗ освоена технология разливки на цельных стаканах SEN на круглую и квадратную заготовку: диаметром 150, 220, 460, 550 мм и сечением 150×150 мм². Сложность работы на стаканах SEN заключается в том, что при нарушении режима разогрева или при неслаженной организации технологического процесса в периоды разогрева стаканов и запуска серии высока вероятность их термической и механической поломки. Это, в свою очередь, снижает производительность МНЛЗ и останавливает всю технологическую цепочку. Преимущества и недостатки разливочных стаканов SES и SEN представлены в таблице. Таким образом, стаканы типа SEN имеют больше преимуществ по сравнению со стаканами SES, несмотря на то что этот тип стаканов в России используется не на всех многоручьевых МНЛЗ.

Запуск ручьев сортовой МНЛЗ становится затруднительным, если сечение заготовки малое, поэтому следует больше внимания уделять мелочам. Следует принимать во внимание геометрию металлопроводки, параметры системы контроля уровня стали в кристаллизаторе в период запуска ручья и порядок действий технолога на ручье.

Стопорная разливка подразумевает следующую систему поддержания уровня металла

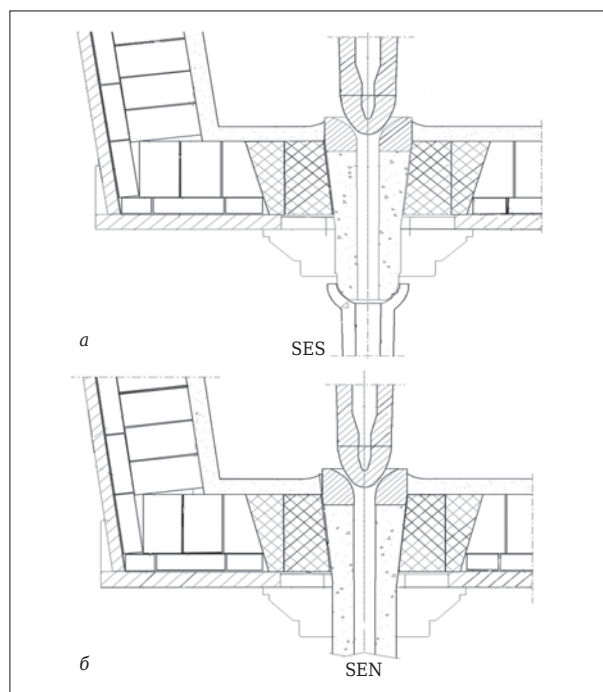


Рис. 1. Металлопроводка по типу SES (а) и SEN (б)

в кристаллизаторе (рис. 2). Заданную скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора (скорость литья) создают электродвигатели тянущего механизма МНЛЗ, а заданный уровень металла в кристаллизаторе поддерживает стопорный механизм. В процессе разливки стали на МНЛЗ стопорный механизм поддерживает уровень металла в кристаллизаторе за счет изменения потока металла из промежуточного ковша в кристаллизатор. Таким образом, для стопорной разливки скорость литья — величина постоянная, а поток металла — переменная.

Обычно для старта ручья на МНЛЗ задают следующие параметры: начальная скорость движения затравки, м/мин; максимальная ско-

Сравнение двух типов металлопроводки для разливки закрытой струей

Параметр	SES	SEN
Штучный расход металлопроводки на промежуточный ковш	Высокий (–)	Низкий (+)
Удельный расход металлопроводки на разлитую сталь	Высокий (–)	Низкий (+)
Масса одного комплекта	Высокая (–)	Низкая (+)
Стоимость	Дороже на 10–20 % стоимости SEN (–)	Дешевле (+)
Сложность технологии разливки	Простая (+)	Сложная (–)
Дополнительные средства и мероприятия для разогрева стакана перед запуском МНЛЗ	Не требуются (+)	Требуются (–)
Возможность замены стакана во время разливки	Да (+)	Нет (–)
Дополнительное оборудование для удержания стакана	Требуется (–)	Не требуется (+)
Использование уплотняющих вставок или аргона для защиты от вторичного окисления	Требуется (–)	Не требуется (+)
Вторичное окисление стали через разливочный стакан	Имеется (–)	Не имеется (+)
Возможность увеличения серийности	Имеется (+)	Не имеется (–)
Итого	«+» — 4 «–» — 7	«+» — 7 «–» — 4

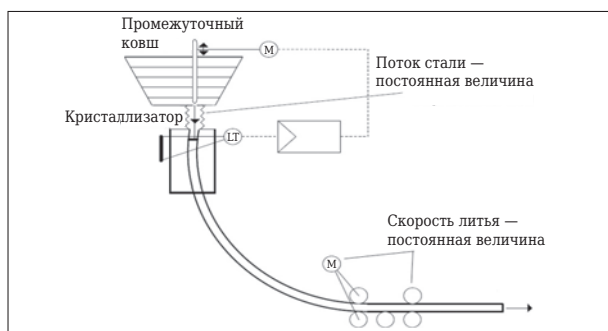


Рис. 2. Схема системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе для стопорной разливки: М — исполнительный привод тянущих валков или стопорного механизма; ЛТ — датчик уровня металла в кристаллизаторе

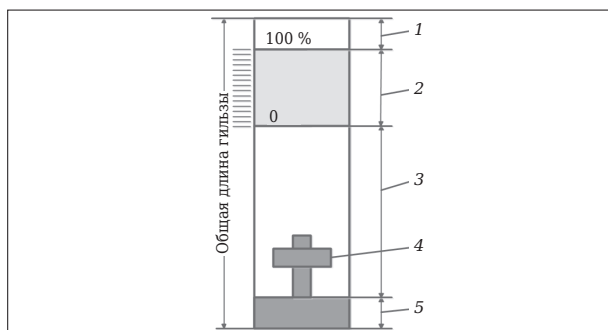


Рис. 3. Схема заполнения зон кристаллизатора сортовой МНЛЗ: 1 — зона верха кристаллизатора, невидимая для системы измерения уровня (~80 мм); 2 — зона измерения уровня металла в кристаллизаторе от 0 до 100 % (~200 мм); 3 — зона стали, невидимая для системы измерения уровня (зона наполнения при запуске ручья); 4 — замораживатель стали (головка затравки); 5 — зона ввода головки затравки в гильзу кристаллизатора (~100 мм)

рость движения затравки, м/мин; время ускорения от начальной до максимальной скорости движения затравки, с; коэффициент чувствительности стопора для старта (К-старт). К-старт определяет ошибку в системе контроля уровня металла в кристаллизаторе в соответствии с заданным уровнем и регулирует положение стопора. Чем больше К-старт, тем быстрее стопорный механизм будет реагировать на изменения уровня металла в кристаллизаторе. Следует также учитывать качество подготовки металла на участке внепечной обработки стали, так как холодный металл или низкая жидкотекучесть стали (высокое содержание в стали тугоплавких неметаллических включений) могут привести к потерям ручьев на старте или в период разливки.

Опыт работы сортовых МНЛЗ показывает, что неудачные запуски чаще всего происходят в основном на крайних ручьях промежуточного ковша из-за отклонения уровня металла в кристаллизаторе от заданного (перелив или уход уровня). Рассмотрим порядок действия тех-

нолога при запуске ручья на сортовых МНЛЗ. Когда ручей находится в режиме разливки и все условия по «готовности к разливке» выполнены, а уровень стали в промежуточном ковше достиг установленного, технолог производит первое открытие стопора при помощи ручного пульта управления или автоматически при заданном уровне металла в промежуточном ковше, чтобы произвести наполнение кристаллизатора. В практике непрерывной разливки ручное открытие стопора зарекомендовало себя как наиболее надежный способ.

Когда уровень металла достигает 20 % (рис. 3), стопор переключается в автоматический режим и контролирует уровень стали в кристаллизаторе в соответствии с установленными технологическими параметрами. При достижении уровня металла 20 % в кристаллизаторе начинается движение затравки согласно установленным технологическим параметрам старта ручья. Если стопор в данный момент имеет небольшое, но достаточное раскрытие, автоматическая система принимает на себя управление, выполняя лишь небольшую настройку положения стопора. Если стопор открыт очень высоко, то системе автоматического контроля уровня приходится значительно менять его положение, что может привести к нестабильности в работе ручья и даже всей МНЛЗ.

Нестабильная работа ручья будет заключаться в следующем. Автоматическая система поддержания уровня металла в кристаллизаторе может привести к резонансной работе стопорного механизма, т. е. будут происходить колебания уровня металла в кристаллизаторе. Эти колебания могут привести к одной из проблем — замерзанию металлопроводки из-за пульсирующего поступления металла в тело стакана и закрытия стопора или «захвату» погружаемого стакана затвердевающей заготовкой в кристаллизаторе. Не исключаются также прорывы кристаллизующейся корочки металла под кристаллизатором из-за подвисания слитка в кристаллизаторе, ухода заготовки в нижнюю зону кристаллизатора или попадания шлакообразующей смеси в тело корочки НЛЗ. В итоге все это приводит к потерям ручьев.

К-старт применяется для перехода с ручного режима на автоматический до тех пор, пока не завершится линейное увеличение скорости вытягивания НЛЗ тянуще-правильным агрегатом (ТПА) до максимума; затем система использует коэффициент чувствительности для разлики (К-разливка), значение которого ниже более чем в 2 раза. Параметр К-старт должен быть настроен так, чтобы уровень металла не выходил за верхнюю границу диапазона из-

мерения уровня, но при этом не должен сильно занижать уровень, чтобы не было его падения за нижнюю границу измеряемого диапазона.

Рассмотрим, каким образом действия технолога МНЛЗ и К-старт могут влиять на уровень металла в кристаллизаторе на старте. Когда в ручном режиме открывают стопор высоко, уровень в кристаллизаторе повышается очень быстро. В момент, когда уровень достигает 20 %, автоматический режим принимает управление на себя. В этом случае К-старт не закроет стопор достаточно быстро, и уровень достигнет более 100 %, когда стопор начнет закрываться с большим ускорением, чтобы предотвратить перелив. Когда затравка начинает ускоряться, уровень уменьшается, и технологу придется повторно открывать стопор. Эти действия часто ведут к прорывам под кристаллизатором или переливам.

Для обеспечения плавного запуска необходимо, чтобы величина раскрытия стопора в момент, когда уровень стали достиг 20 %, была примерно такой же, какая обычно требуется при разливке после завершения запуска ручья. При этом К-старт легко контролирует повышение уровня стали и не приводит к значительным изменениям положения стопора. Если стопор открыт слишком высоко, он не успеет отреагировать достаточно быстро, и уровень выходит за границы диапазона измерения. Данную ситуацию можно исправить, используя более высокий коэффициент чувствительности, но это может привести к колебаниям системы контроля уровня, что также может стать причиной остановки на ручье.

На рис. 4 показаны примеры запуска ручья по правильной и неправильной схемам открытия стопора. На рис. 4, а показан неправильный запуск ручья за счет медленного открытия стопора. За счет быстрого открытия стопора и поэтапного снижения позиции стопора обеспечивается плавный запуск ручья (см. рис. 4, б). Начало понижения позиции стопора определяется моментом стабильного потока стали, т. е. пока не появятся брызги (искры) металла из кристаллизатора. На рис. 5 представлен общий алгоритм запуска ручья на сортовой МНЛЗ. Переход от ручного режима управления стопором на автоматическое обеспечивает включение тянущих валков, качание кристаллизатора и подачу воды на зону вторичного охлаждения.

Малое сечение кристаллизатора (например, квадратное 130×130 мм² или круглое диаметром 150 мм) усугубляется еще и присутствием погружаемого стакана внутри него. Стакан занимает некоторое свободное место,

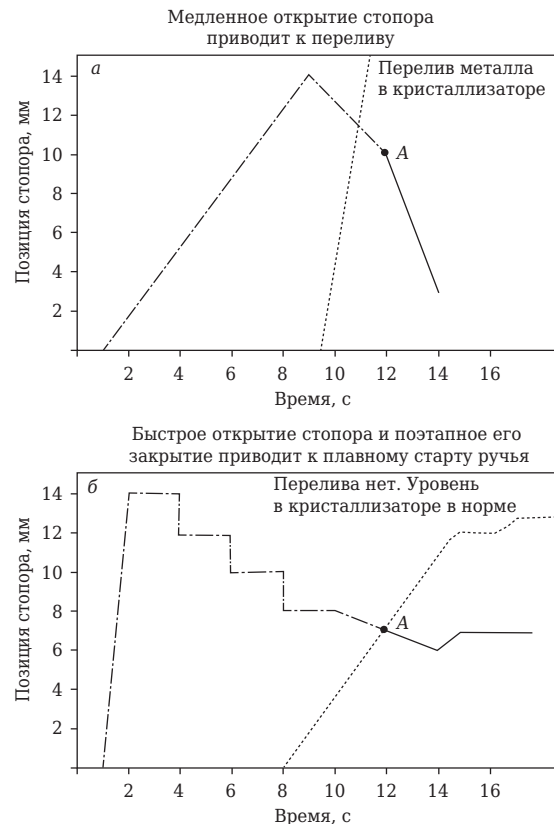


Рис. 4. Схемы открытия стопора и скорость набора уровня металла в кристаллизаторе: — — — — — ручное регулирование позиции стопора; — — — — — автоматическое регулирование позиции стопора; — уровень металла в кристаллизаторе; А — точка перехода от ручного управления на автоматическое

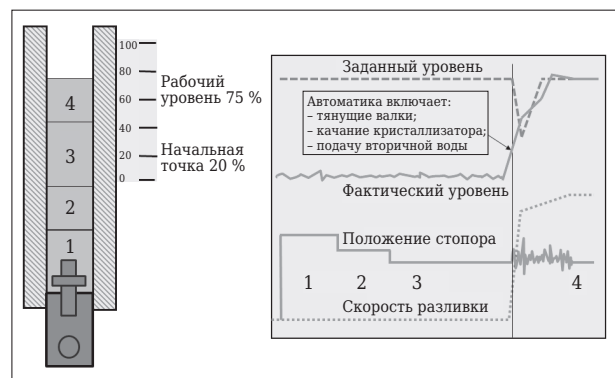


Рис. 5. Алгоритм запуска ручья на МНЛЗ

уменьшая объем кристаллизатора, и приводит к тому, что заполнение начинает резко ускоряться, когда уровень стали достигает погружаемого стакана. К тому же для удовлетворительной работы шлакообразующей смеси необходимо обеспечить расстояние от стенки кристаллизатора до погружаемого стакана минимум 25 мм. Если расстояние меньше, то смесь будет затвердевать, окомковываться и приводить к трудностям в процессе разливки.

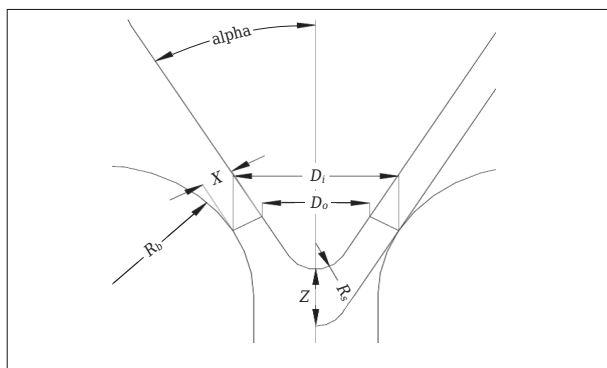


Рис. 6. Схема обозначения размеров стопорной пары (стопор-моноблок и стакан-дозатор)

В зависимости от высоты поднятия стопора производится расчет раскрытой площади, через которую протекает жидкий металл. По данной площади рассчитывается поток металла (в кг/мин). Для исключения технических ошибок при выборе геометрии разливочных стаканов рекомендуется производить расчет для каждой проектируемой металлопроводки МНЛЗ. Диаметр отверстия в верхней части стакана-дозатора SEN или стакана-дозатора промежуточного ковша должен быть небольшим, обычно для сортовой заготовки 36–40 мм. Таким образом, правильно выбранные наружный диаметр погружаемого стакана и внутреннее отверстие стакана-дозатора промежуточного ковша являются залогом успешного запуска ручья.

Для проверки правильности геометрии разливочных стаканов промежуточного ковша рекомендуется рассчитывать поток металла в зависимости от высоты открытия стопора. Для расчета потока металла учитывают следующие параметры стопорной пары (рис. 6): угол конуса стопора (α); радиус закругления конуса стопорного яблока R_s ; диаметр отверстия стакана-дозатора; радиус закругления стакана-дозатора R_b . На стартовые параметры сортовой МНЛЗ влияют следующие размеры металлопроводки: наружный диаметр погружаемого стакана; внутренний диаметр стакана-дозатора SEN или стакана-дозатора промежуточного ковша.

Как указывалось выше, на практике работы сортовых МНЛЗ наблюдалось, что наибольшее количество неудачных запусков приходится на крайние ручки промежуточного ковша. Причина этого заключается в том, что сталь в крайней зоне промежуточного ковша самая холодная: три стенки промежуточного ковша отбирают тепло из жидкой стали. Это может привести к тому, что первая струя из промежуточного ковша вытекает медленно, приходится открывать стопор высоко, затем поток стали становится быстрее и возникает перелив. Установле-

но, что когда крайние ручки перезапускаются после неудачного старта, то они запускаются нормально. Возможно, это происходит потому, что промежуточный ковш прогрет и уровень стали в ковше высок, т. е. первые порции металла жидкотекучие и в этом случае открывать стопор высоко не нужно. Рекомендуется запускать крайние ручки на несколько минут позже после запуска центральных ручьев, чтобы обеспечить хорошую жидкотекучесть стали. При установке стакана-дозатора в промежуточный ковш необходимо, чтобы верхняя часть стакана-дозатора выступала минимум на 30 мм над дном промежуточного ковша. В случае расположения верхней части стаканов-дозаторов на одном уровне с дном промежуточного ковша первые порции стали будут замерзать у нижней части стопора, что приведет к усложнению процесса запуска. Это особенно характерно для крайних ручьев, к которым приходит более холодная сталь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе опыта работы МНЛЗ ЧМК (квадрат сечением $180 \times 180 \text{ мм}^2$, круг диаметром 150 мм) и ПНТЗ (квадрат сечением $150 \times 150 \text{ мм}^2$, круг диаметрами 150 и 220 мм) определены рекомендации по повышению надежности работы сортовых МНЛЗ в период запуска и во время разливки:

1. Регулировать первое наполнение кристаллизатора металлом необходимо ручным способом.
2. Первое открытие стопора должно быть достаточно быстрым. Понижать позицию стопора следует постепенно, когда пойдет стабильный поток стали.
3. В последнюю очередь рекомендуется запускать крайние ручки.
4. Верхняя часть стакана-дозатора промежуточного ковша или погружаемого стакана SEN должна выступать над футеровкой дна промежуточного ковша примерно на 30 мм.
5. Диаметр отверстия в верхней части стакана-дозатора SEN или стакана-дозатора промежуточного ковша должен быть небольшим — обычно для сортовой разливки 36–40 мм.
6. Выбор металлопроводки для сортовой МНЛЗ должен производиться в комплексе с технологией непрерывной разливки стали с учетом марочного сортамента и особенностей работы автоматики. ■

Получено 09.04.14
© С. А. Ботников, 2014 г.