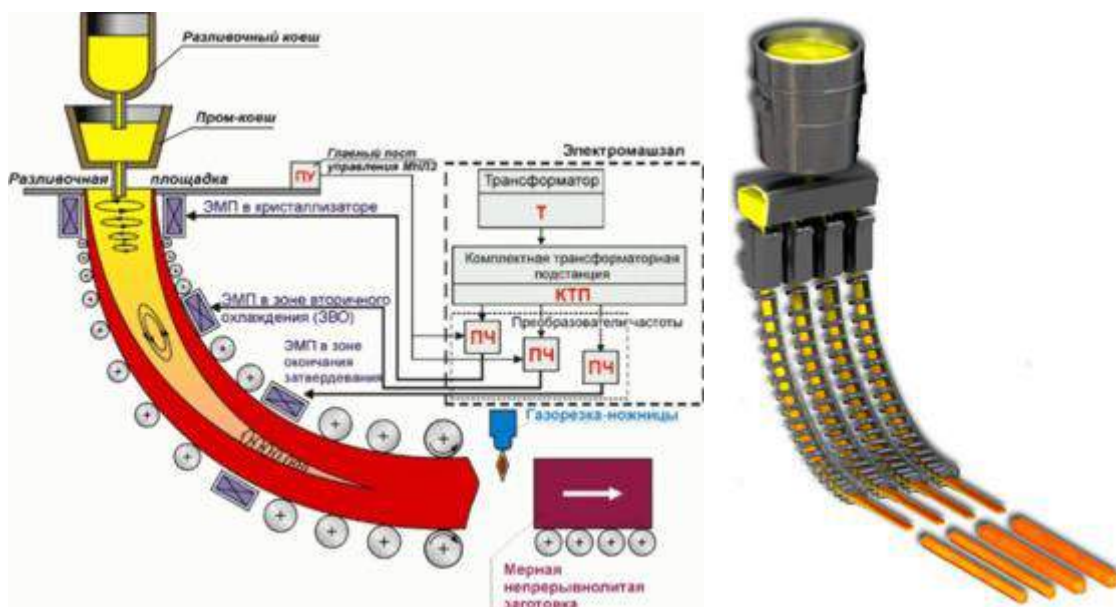


Сортовые МНЛЗ, машина непрерывного литья заготовки, сортовая МНЛЗ, машины для непрерывного литья заготовок сортовые

Предприятия черной металлургии России являются одними из крупнейших поставщиков сортовой заготовки и длинномерного проката на мировой и внутренний рынок, динамика развития которого характеризуется заметным повышением конкуренции и требований к качеству продукции. В этом плане весьма актуальным представляется анализ тенденций развития технологии и оборудования для непрерывного литья сортовой заготовки.

В металлургической практике под сортовой заготовкой принято понимать продукт металлургического производства в виде стальной балки квадратного, прямоугольного или круглого сечения (максимальный размер меньшей стороны не более 180–200 мм), полученной при разливке на МНЛЗ или путем прокатки из слитка на блюминге. В дальнейшем сортовая заготовка используется в качестве исходной заготовки для прокатки на различные профили (круг, арматура, квадрат, швеллер, уголок и пр.).



В настоящее время в мире производится свыше 350–380 млн. т непрерывно литой сортовой заготовки в год. И эта цифра весьма быстро увеличивается, что подтверждает эффективность технологических и конструктивных решений в части сортовых МНЛЗ. Достаточно сказать, что только за последнее десятилетие производство сортовой заготовки было освоено более чем на двух десятках металлургических заводов СНГ.

Весьма характерным при этом является то, что в группе длинномерной продукции наблюдается как бы «смесь» из крупных производств на интегрированных металлургических заводах и гибких металлургических предприятий сравнительно небольшого годового объема производства (мини и микро металлургических сталеплавильных заводов). Однако и для одних и для других производств не существует гарантированно надежной технологической схемы, обеспечивающей оптимальный результат и гарантированную конкурентоспособность.

Несмотря на то, что разливка стали на сортовую заготовку осуществлялась в промышленных масштабах еще в начале 60-х годов прошлого столетия, ее широкое распространение началось значительно позднее – в середине 80-х годов. Это следует связывать, прежде всего, с прогрессом в части повышения производительности сортовых МНЛЗ, которая достигается за счет обеспечения высокой скорости вытяжки заготовки и повышения числа ручьев до 5–6 м/мин и более. Современные сортовые МНЛЗ обеспечивает разливку от 30 000 до 500 000 тыс. т заготовки в год на один ручей и более, что создает предпосылки для технологического совмещения ее

функционирования с высокопроизводительными плавильными агрегатами (конвертер или дуговая сталеплавильная печь).

Не менее важным моментом в прогрессе техники и технологии для сортовых МНЛЗ явилось также бурное развитие концепции металлургических мини-заводов со стратегией минимизации издержек, пришедшее на последние два десятилетия прошлого века. Современное построение типа «мини электросталеплавильных заводов» предполагает модульную компоновку, в состав которой входит высокопроизводительная дуговая сталеплавильная печь, агрегат «ковш-печь» и сортовая МНЛЗ. Модульная схема построения таких заводов обеспечивает гармонизацию работы основных технологических агрегатов и оборудования, а высокопроизводительная сортовая МНЛЗ при этом функционирует в режиме разлива сверхдлинными сериями (несколько суток без остановки).

Количество металлургических мини электросталеплавильных заводов в мире уже заметно превышает 1000 единиц и на их долю приходится чуть менее трети всей производимой стали. Между тем годовая производительность мини-заводов может колебаться в значительных пределах: от 30 000-500 000 тыс. тонн до 1-1,5 млн. тонн стальной заготовки в год. При этом определяющим объемом производства элементом является рабочий объем и цикл плавки дуговой печи. Как правило, возможности современных дуговых печей, оснащенных высокомоощным трансформатором, обеспечивают цикл выплавки (от выпуска до выпуска) на уровне 40-45 минут. Производительность же МНЛЗ определяется скоростью вытяжки заготовки, ее сечением и количеством ручьев.

Важнейшим показателем для изготовителей длинномерной продукции является понятие «обеспечение требуемого качества» имеет особое значение, потому что их продукция подвергается многократному переделу промежуточными и окончательными переработчиками, как правило, крупными партиями и без проведения индивидуального входного контроля, а уровень качества исходного продукта отображается только результатами выборочных испытаний конечной продукции. В этих условиях технологический уровень производства и разлива стали приобретает крайнем важное значение.

Обобщая известные подходы в области технологии разлива сортовой заготовки следует отметить, что технологические переделы стали осуществляются как открытой (незащищенной), так и закрытой (специальная огнеупорная проводка) струей. При разливе сталей рядового качества производители стремятся в максимальной степени реализовать стратегию минимизации издержек, что предполагает, в том числе, и разливу стали открытой струей. Совместно с технологией разлива сверхдлинными сериями это позволяет уменьшить удельные затраты только на огнеупоры примерно в 2-3 раза. Разливка стали закрытой струей применяется при литье качественных и специальных марок сталей, склонных к вторичному окислению (например, раскисленных алюминием), и осуществляется с помощью защитной трубы между сталеразливочным ковшом и промковш, а также погружных стаканов между промковшом и кристаллизатором. При этом наиболее сложным для практической реализации представляется расположение погружного стакана в полости кристаллизатора малого сечения (100x100 мм или 120x120 мм) с регламентируемым зазором между стаканом и стенками кристаллизатора. На практике для реализации такой схемы разлива используются специальные погружные стаканы, которые изготавливаются методом изостатического прессования. При этом рабочая часть этих стаканов, контактирующая со шлакообразующей смесью и жидкой сталью, выполняется из высококачественного оксида циркония. Стойкость погружных стаканов при этом ограничивается толщиной стенки, которая составляет 12-15 мм.

В связи с растущими требованиями к эффективности работы сортовых МНЛЗ технологические функции промковша постоянно трансформируются и становятся все более обширными, чем это было предусмотрено первоначальными проектами. В большом количестве машин конструктивные решения, используемые для промковша, дополнительно обеспечивают протекание различных металлургических процессов: отделение и всплытие неметаллических включений, введение в

расплав различного рода добавок, модифицирование неметаллических включений кальцием и пр. Определенные уточнения, по-прежнему, требуются в части привязки известных решений к конкретным условиям литья, к числу которых следует отнести конфигурацию промковша, количество ручьев МНЛЗ, требования к качеству стали по загрязненности неметаллическими включениями, падение уровня металла в процессе замены сталеразливочного ковша, интенсивность и характер износа рабочего слоя огнеупоров промковша и т.п.

Длительность разливки стали из одного промковша сортовой МНЛЗ на ряде заводов достигает сегодня 50-100 плавов и лимитируется, главным образом, двумя технологическими факторами: износом стаканов-дозаторов и опережающим износом футеровки промковша в зоне падения струи, вытекающей из сталеразливочного ковша. Практика последнего десятилетия показывает, что проблема износа внутренней полости стаканов-дозаторов полностью решается путем оптимизации технологии подготовки стали к разливке и применением устройств для быстрой замены стаканов-дозаторов, которые в настоящее время полностью отработаны несколькими зарубежными фирмами. Такие устройства предполагают расположение под днищем промковша специальной кассеты, имеющей, по крайней мере, два стакана-дозатора, быстрая установка которых в рабочее положение (цикл перемещения стакана-дозатора составляет около 0,2-0,3 секунды) осуществляется с помощью специального гидропривода. Применение устройства для быстрой замены стакана-дозатора обес-печивает, по меньшей мере, повышение стабильности процесса литья за счет хорошей организации течения струи и квазипостоянного мгновенного расхода стали, а также минимизации вторичного окисления металла на участке промковш-кристаллизатор.

Опережающий износ рабочего слоя футеровки промковша, как правило, локализуется областью шлакового пояса, прилегающей к зоне падения струи, что объясняется турбулизацией потоков в этой части промковша и интенсивным перемешиванием потоков стали с покровным шлаком вследствие бурления. При разливке сверхдлинными сериями активный контакт торкрет-слоя промковша с покровным шлаком составляет несколько десятков часов (при периодическом изменении уровня металла), что практически исключает возможность эффективного применения высокостойких огнеупоров без дополнительных мероприятий по их защите. Достижение высоких показателей длительности разливки стали из одного промковша следует, прежде всего, связывать с рациональной организацией движения потоков стали, исключающих дополнительное разрушение рабочего слоя футеровки промковша.

Анализируя работу промковша многоручьевого сортовой МНЛЗ при разливке длинными и сверхдлинными сериями следует выделить следующие функциональные особенности:

-постоянный контакт определенной части днища промковша со струей металла, падающей из сталеразливочного ковша, что приводит к размыванию огнеупорного слоя в месте падения струи;

-периодическое многократное изменение уровня металла в промковше (во время замены сталеразливочных ковшей), что, по меньшей мере, изменяет динамику движения потоков стали;

-бурление металла и его активное перемешивание с покровным шлаком в зоне падения струи стали, что обуславливает износ рабочего слоя футеровки;

-попадание в промковш шлака из сталеразливочных ковшей, что существенно изменяет свойства и толщину покровного шлака в промковше по ходу разливки;

-организация движения потоков стали в промковше таким образом, чтобы разность величины температуры стали, вытекающей из центральных и крайних ручьев, была минимальной, что обеспечивает стабильность процесса литья.

Повышенная производительность сортовых МНЛЗ достигается за счет высокой скорости вытяжки заготовки (5-6 м/мин) путем применения параболических (многоступенчатых) гильзовых кристаллизаторов, длина которых составляет 1,0-1,1 м. Применение кристаллизаторов такой конструкции обеспечивает благоприятные условия для быстрого и относительно равномерного наращивания твердой корочки заготовки. Это происходит вследствие того, что внутренняя поверхность гильзы кристаллизатора имеет профиль, который учитывает изменение сечения заготовки вследствие усадки. При этом величина воздушного зазора между поверхностью гильзы кристаллизатора и заготовкой сокращается до минимума. В целом применение параболических

кристаллизаторов обеспечила увеличение скорости вытяжки заготовки в среднем в 2,0-2,5 раза в сравнении с одноконусной и двухконусными гильзами.

Гильзы кристаллизаторов современных сортовых МНЛЗ представляют собой высокотехнологичные изделия, которые выполняются с высокой размерной точностью, а на их рабочую поверхность наносится специальное износостойкое покрытие на основе хрома, никеля и др. металлов. Вместе с тем, следует отметить, что при использовании параболических и многоступенчатых гильз кристаллизаторов может наблюдаться повышенное трение заготовки на выходе из него, что вызывает повышенный износ стенок гильзы в случае излишней его конусности. Поэтому разливка с применением параболических кристаллизаторов требует строго регламентируемых параметров литья.

Гильзы кристаллизаторов охлаждаются водой высокого качества, часто деминерализованной, и снабжены оборотной системой. Обычно в технических условиях оговаривается, что оборотная система должна обеспечивать минимальную скорость потока воды в каналах системы охлаждения порядка 7-8 м/сек. На наш взгляд, развитием системы охлаждения гильз кристаллизаторов может стать спрейерное охлаждение. При этом подвод воды к внешней поверхности гильзы осуществляется посредством нескольких десятков форсунок, расположенных равномерно по граням и углам гильзы. Это обеспечивает надежное и равномерное охлаждение гильзы независимо от ее конструкции и геометрической формы. При прочих равных условиях для спрейерного охлаждения требуется на 30% меньше воды, чем для кристаллизаторов с водяной рубашкой. Помимо этого стойкость гильзы кристаллизаторов повышается в 1,5-2,0 раза.

Еще одной важной проблемой, которой будет уделяться большое внимание в ближайшем будущем, является улучшение качества поверхности сортовой заготовки. Известно, что на качество поверхности заготовки влияют процессы бурления стали в верхней части гильзы кристаллизатора, а также неравномерный рост корочки в начальный период, что приводит к ее травмированию при качаниях кристаллизатора. В этом плане представляют интерес решения, которые направлены на стабилизацию процессов зарождения и начального роста корочки. Таким подходом, например, характеризуется концепция «разливки со свободным мениском». Отличительным элементом этой технологии является применение кристаллизатора специальной сборной конструкции, верхняя часть которого выполнена из керамического материала. Кроме того, через пористое кольцо, установленное между керамической и медной частью кристаллизатора, вдувается аргон, который обеспечивает усреднение жидкой стали и торможение падающей струи. Благодаря этому формирование твердой корочки уже начинается под уровнем стали в области, где эффекты бурления и неоднородности потоков практически полностью исчезают.

Определенного подавления гидродинамических возмущений жидкого металла в верхней части жидкой ванны кристаллизатора удастся достигнуть при наложении на расплав высокочастотных (свыше 100 кГц) электромагнитных полей. При этом также требуется установка специальных индукторов в верхней части кристаллизатора.

Одна из важнейших функций работы кристаллизатора - предотвращение прилипания и последующего разрыва образовавшейся тонкой корочки стали во время перемещения затвердевающей заготовки. При разрыве твердой корочки вследствие прилипания ее часть, расположенная вблизи зеркала жидкой стали, сцепляется со стенкой кристаллизатора и отделяется от движущейся вниз корочки. На место образовавшегося разрыва проникает жидкий металл, который при затвердевании уже не успевает образовать корочку достаточной толщины и прочности. Получающееся соединение является достаточно непрочным и обычно разрывается при выходе из кристаллизатора. Минимизации явления прилипания твердой корочки удастся достигнуть в том случае, когда усилие трения между поверхностью заготовки и стенками кристаллизатора оказывается ниже определенного критического уровня, который определяется в зависимости от прочности корочки. Снижение вероятности прилипания корочки к стенкам кристаллизатора достигается путем придания кристаллизатору возвратно-поступательных движений с определенной частотой и амплитудой. В последнее десятилетие основная доля новых и реконструированных сортовых МНЛЗ оснащается кристаллизаторами с гидроприводами,

которые позволяют осуществлять несинусоидальный режим качаний. Считается, что несинусоидальные режимы качания кристаллизатора позволяют существенно повысить скорость разливки и улучшить качество поверхности и подповерхностных слоев заготовки.

В результате качаний кристаллизатора на поверхности заготовки формируются поперечные углубления в виде канавок, которые принято называть «следами качания». Глубина следов качания зависит от способа разливки: при низкой частоте качаний (<130 циклов/мин) разливка с ШОС приводит, например, к образованию более глубоких меток, чем при литье открытой струей. При увеличении частоты качаний данное соотношение практически не меняется. Другим важным параметром, влияющим на глубину следов качания, является скорость разливки: более высокая скорость разливки приводит к образованию менее глубоких следов качания.

В случае если внутренние напряжения в твердой корочке заготовки достигают предельных значений, то вдоль ее угла может образовываться вертикальная продольная трещина, обусловливаемая износом донной части кристаллизатора, неравномерным охлаждением заготовки в кристаллизаторе, повышенной температурой стали в промковше, высоким содержанием вредных примесей (S, P, Sn, Pb, Sb) и т.п. В целом же в результате многочисленных исследований и наблюдений установлено, что при разливке с высокими скоростями величина перегрева металла в промковше оказывает значительно большее влияние на весь технологический процесс разливки, чем при разливке с обычными скоростями. Это связано с тем, что толщина твердой оболочки формирующейся заготовки на выходе из кристаллизатора уменьшается, что повышает вероятность прорывов металла под кристаллизатором. Нарушение условий формирования твердой корочки в кристаллизаторе приводит к увеличению опасности прорыва металла, что, в конечном счете, снижает выход годного и понижает производительность МНЛЗ. Следовательно, выбор рациональной скорости разливки непрерывнолитой сортовой заготовки может регламентироваться уровнем требований к ее качеству.

При выходе заготовки из кристаллизатора ее охлаждение осуществляется путем интенсивного опрыскивания ее поверхности водой, отвода тепла к поддерживающим роликам и вследствие конвекции и лучеиспускания в окружающую среду. Интенсивность охлаждения во вторичной зоне должна выбираться таким образом, чтобы температура поверхности заготовки в процессе ее перемещения по ней медленно уменьшалась. Температура поверхности непрерывнолитой заготовки в зоне вторичного охлаждения (ЗВО) устанавливается таким образом, что тепловой поток через корку слитка и теплоотвод на поверхности слитка получались примерно одинаковыми. Повышение интенсивности теплоотвода ограничивается конечным термическим сопротивлением корки заготовки. Для обеспечения равномерного охлаждения заготовки по длине ЗВО предусматривается несколько секций с различной интенсивностью отвода тепла. Для достижения требуемой интенсивности теплоотвода на сортовых МНЛЗ, как правило, применяется охлаждение струями воды, разбрызгиваемой через специально установленные форсунки.

В последнее время конструкциях сортовых МНЛЗ стали предусматривать зону водовоздушного охлаждения, располагаемую, как правило, в конце ЗВО. Распыление воды в таких форсунках происходит в основном в результате соударения двух потоков (водяного и воздушного) внутри форсунки. Распылитель представляет собой как бы две независимые форсунки – для воды и для воздуха, - струи от которых пересекаются. Оба потока выходят из распылителя в направлении непрерывнолитой заготовки и встречаются один с другим, образуя факел мелкодисперсных капель воды. Воздух при этом способе охлаждения играет двоякую роль: он обеспечивает распыление воды и сообщает каплям необходимую высокую кинетическую энергию. Характер распыления воды определяется расходом и давлением воздуха и поддается регулированию в широком диапазоне параметров. Применение водовоздушного охлаждения позволяет расширить возможности разливки стали на сортовых МНЛЗ.

В последние 10-15 лет для подавления осевой пористости и ликвации все большее применение получает метод «мягкого» обжатия (“softreduction”) непрерывнолитой заготовки в конце цикла затвердевания. Сущность этого метода заключается в том, что непрерывнолитая заготовка

подвергается дополнительному обжатию (на несколько миллиметров) в нижней части ЗВО при наличии 30-50% жидкой фазы. Этот метод нашел достаточное применение при разливке сортовых заготовок высокого качества. Влияние качества и химического состава, скорости вытяжки заготовки, режимов вторичного охлаждения и сечения заготовки обуславливают изменение рабочих параметров «мягкого» обжатия. Максимальный эффект подавления осевой ликвации достигается при минимальном колебании параметров разливки в условиях обеспечения минимального выпучивания заготовки в зоне обжатия. Это достигается путем постоянного контроля соприкосновения поверхности пинч-роликов с поверхностью заготовки.

Возможности метода мягкого обжатия для снижения ликвации в осевой зоне заготовки ограничены способностью корочки к удлинению на границе твердой и жидкой фаз. Так как повышенная нагрузка на корочку в зоне фронта затвердевания приводит к образованию внутренних трещин, величина отдельных стадий деформации не должна превышать максимально допустимого значения. Усилить эффект «мягкого» обжатия удастся посредством оптимизации геометрической формы внутренней полости кристаллизатора.

Одним из эффективных методов повышения качества непрерывнолитой сортовой заготовки является электромагнитное перемешивание (ЭМП) жидкой стали. Механизм электромагнитного воздействия является результатом сложного взаимодействия электродинамических, магнитогидродинамических и металлургических факторов. Индуктивная система ЭМП представляет собой статор асинхронного двигателя, ротором которого является жидкая лунка непрерывного слитка. ЭМП улучшает качество подповерхностной и осевой зоны непрерывнолитых заготовок, так как оно воздействует на фор-мирование кристаллической структуры, перемещение неметаллических включений, химическую сегрегацию и распределение газов. На практике используются статоры с вращающимися и линейными полями. Основные электрические параметры устройств ЭМП меняются в широких пределах в зависимости от их конструкции и сечения заготовки. Характер потоков, создаваемых ЭМП, зависит от конкретных условий (сечение заготовки, место приложения воздействия, требования к результатам воздействия и т.п.). Магнитодинамические потоки, создаваемые ЭМП, состоят из одного или нескольких замкнутых контуров.

С точки зрения глубины проникновения электромагнитного поля, влияние индукторов перемешивающих устройств на кристаллизующийся слиток можно разделить на следующие группы: для обработки поверхностных и подповерхностных слоев непрерывной заготовки; для уплотнения внутренних объемов. В первом случае применяют вертикальное перемешивание металла в кристаллизаторе, а во втором проводят вращательное перемешивание расплава в горизонтальной плоскости.

Заключение:

Мировой рынок сортовой заготовки развивается в направлении повышения требований к ее качеству как на макро, так и на микро уровне. Вместе с тем большинство производителей сортовой заготовки отдают предпочтение прямому получению сортовых заготовок на высокоскоростных сортовых МНЛЗ. При этом преимущество отдается заготовкам меньшего сечения (максимально приближенным к размерам сечения конечного продукта), поскольку в условиях ускоренного затвердевания в меньшей степени развиваются ликвационные и усадочные процессы.

Благодаря последним достижениям в области непрерывной разливки, на практике созданы все необходимые предпосылки для производства сортовой заготовки в сталеплавильных цехах с высокой единичной мощностью основных агрегатов. Это достигается путем использования многоручьевых сортовых МНЛЗ с высокой скоростью вытяжки заготовки в совокупности с применением агрегатов типа «ковш-печь», обеспечивающих требуемое качество жидкого металла и ритмичность его подачи на МНЛЗ. Дальнейшее повышение качества непрерывнолитой сортовой заготовки и повышение ее конкурентоспособности, видимо, будет достигаться за счет расширения применения методов защиты стали от вторичного окисления, например, при использовании разливки через систему «стопор-моноблок» - «стакан-дозатор» - «погрузной стакан».

Следует ожидать, что в ближайшие 10-15 лет прогресс в непрерывной разливке сортовой заготовки будет достигаться на базе традиционных решений и конструкций МНЛЗ за счет проведения небольших, но глубоких и тонких конструкционных и технологических трансформаций в совокупности с повышением уровня автоматизации работы машины.