

Раздел 6. Теория и технология разливки стали.
Тема 6.2.Разливка стали на МНЛЗ

Лекция №158

Тема: Кристаллизаторы. Назначение и основные типы кристаллизаторов МНЛЗ

План лекции

1 Кристаллизаторы

2. Назначение и основные типы кристаллизаторов МНЛЗ

Кристаллизатор предназначен для формирования слитка заданного сечения и первичного охлаждения заготовки.

В любой МНЛЗ кристаллизатор выполняет функции первичного холодильника, отводящего до 30% теплоты расплава, и формообразователя, обеспечивающего заданную форму поперечного сечения слитка. По принципу работы – это теплообменник, основной задачей которого является создание необходимых условий для интенсивного отвода теплоты от жидкого металла. В результате по его периметру происходит непрерывное формирование внешней оболочки – корочки будущего слитка. Обязательным условием нормальной работы кристаллизатора является обеспечение на выходе из него оболочки с прочностью, превышающей ферростатическое давление находящегося в ней жидкого металла и усилий вытягивания.

От конструктивных и теплофизических характеристик кристаллизатора во многом зависят производительность машины в целом и качество слитка. Конструкция кристаллизатора должна обеспечивать высокую его стойкость, возможность регулирования размеров профиля отливаемой заготовки, а в случае необходимости – его быструю замену.

Кристаллизатор представляет собой сквозную водоохлаждаемую изложницу с медными полыми стенками. Для повышения жесткости и прочности такая изложница устанавливается в стальном литом или сварном корпусе.

Все конструкции кристаллизаторов можно объединить в три большие группы: блочные, гильзовые и сборные. Все они в зависимости от формы технологической оси МНЛЗ могут быть прямолинейными и радиальными.

Блочные кристаллизаторы изготавливаются из цельнокатанных или литых медных блоков с толщиной стенок 150...175 мм. В стенках просверлены отверстия, по которым проходит вода для охлаждения. Число отверстий, их диаметр и расстояние между ними определяются условиями теплоотвода. Обычно диаметр отверстий составляет 20...22 мм с шагом 40...60 мм. Готовый медный блок крепится для повышения прочности в стальном корпусе.

Кристаллизаторы такого типа характеризуются сравнительной долговечностью, отсутствие стыков между стенками обеспечивает достаточно высокую надежность их в работе. В то же время они дороги в изготовлении и в

процессе эксплуатации. В такой монолитной конструкции возникают термические напряжения, вызывающие деформации стенок и образование в них трещин (особенно по углам). Все в конечном итоге снижает производительность кристаллизатора и качество слитка. Ремонт таких кристаллизаторов затруднен, и к тому же в процессе ремонта увеличиваются внутренние размеры, что требует большого парка кристаллизаторов. В настоящее время в массовых промышленных масштабах такие кристаллизаторы не применяются.

Гильзовые кристаллизаторы изготавливаются из цельнотянутых медных труб с толщиной стенки 5...20 мм. Из трубной заготовки различными методами обработки металла давлением получают деталь с заданным профилем поперечного сечения, называемую гильзой, которая и является внутренней рабочей стенкой кристаллизатора. Гильза вставляется в стальной корпус и крепится в верхней части с помощью фланца. Нижняя часть гильзы фиксируется в корпусе с помощью уплотнения, допускающего свободное термическое расширение без возникновения деформации стен. Вода движется между корпусом и гильзой по зазору шириной 4...7 мм, обеспечивая интенсивный и равномерный отвод теплоты. Коробление гильзы предотвращается также устройством ребер жесткости.

Гильзовые кристаллизаторы получили широкое распространение на МНЛЗ, отливающих сравнительно небольшие по сечению сортовые заготовки преимущественно квадратного сечения с максимальным размером сторон 200...250 мм, а также для отливки круглых, полых и других профилей. Большим достоинством таких кристаллизаторов является возможность достижения высоких скоростей разливки вследствие большой интенсивности теплоотвода через тонкие стенки гильзы, отсутствия стыков в рабочей поверхности стенки, которые часто являются причиной зависания слитка, небольшого расхода меди, легкой сменяемости изношенных гильз, а также простота конструкции и сравнительно невысокая стоимость. Однако гильзовые кристаллизаторы не пригодны из-за недостаточной жесткости медных тонкостенных гильз для разливки прямоугольных и крупных квадратных сечений, а так же практически не восстанавливаются при ремонтах.

Сборные кристаллизаторы изготавливаются из четырех отдельных медных плит, каждая из которых для большей жесткости крепится шпильками на отдельной стальной плите. В зависимости от толщины плит кристаллизаторы делятся на тонко- (15...25 мм) и толстостенные (50...100 мм). Собранные все вместе и стянутые по боковым граням болтами они образуют изложницу с медной рабочей поверхностью, расположенную в стальном корпусе. Для снятия температурных напряжений в плитах вызывающих их деформации, и для предотвращения образования зазоров между стенками плит стягивающие болты снабжены пружинными компенсаторами.

Такие кристаллизаторы широко применяются для отливки прямоугольных листовых заготовок – слябов и крупных блюмов, так как высокая жесткость стен позволяет выдерживать без деформации очень большое ферростатическое давление.

Сборная конструкция по мере износа поверхности медных плит обеспечивает возможность неоднократных ее ремонтов путем прострожки и

шлифовки рабочей поверхности плит с последующим их использованием, что дает большую экономию меди.

Характерной особенностью сборного кристаллизатора является возможность изменения ширины отливаемой заготовки. Это достигается перемещением узких стен вставленных между широкими, с помощью различных механических или электромеханических приводов.

Длина сборных кристаллизаторов колеблется в широких пределах от 650 до 1200 мм. За рубежом при скоростях разливки до 1 м/мин получили наиболее широкое распространение короткие кристаллизаторы, длина которых 650...800 мм. При увеличении скоростей разливки до 1,2...1,8 м/мин короткие кристаллизаторы стали причиной повышенной аварийности из-за возросшего числа прорывов. Поэтому при скоростях $>1,2$ м/мин рекомендуется применять кристаллизаторы длиной ≥ 900 мм.

В отечественной практике наиболее стабильные режимы разливки получены на кристаллизаторах длиной 1200 мм. Кроме того, удлиненный кристаллизатор позволяет менять промежуточные ковши без снижения скоростей разливки при отливке металла методом плавка на плавку.

В зависимости от используемого варианта разливки стали из промежуточного ковша (открытой струей, с погружным стаканом, сильфоном) может использоваться два вида смазки рабочих стенок гильз кристаллизаторов:

- жидкая смазка (рапсовое масло);
- шлакообразующая смесь (ШОС).

Смазка подаваемая на стенки гильз кристаллизаторов снижает силы трения между рабочей поверхностью гильзы и вытягиваемой заготовкой.

Расход масла, поступающего в кристаллизатор, автоматически регулируется в зависимости от скорости вытягивания непрерывнолитой заготовки.

Подача шлакообразующей смеси в кристаллизаторы чаще осуществляется в ручном режиме.

Для осуществления контроля и автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе в процессе непрерывной разливки, а также автоматического запуска ручьев в начале разливки предназначена система контроля уровня металла в кристаллизаторе.

Особенностью конструкции кристаллизатора **сортовой машины** является наличие обечайки точно сцентрированной на медной гильзе, которая образует конструкцию «труба в трубе» обеспечивающую проток охлаждающей воды в зазоре между гильзой и обечайкой.

Кристаллизатор состоит из стального корпуса, медной гильзы, крышек, в которых гильза фиксируется и уплотняется в корпусе, обечайки, а также устройства для подачи и равномерного распределения технологической смазки.

Охлаждающая вода, с высокой скоростью, протекает в зазоре между гильзой и обечайкой. Установленные в крышках уплотнения из термостойкой резины, исключают течь воды из кристаллизатора.

На верхней крышке кристаллизатора, вплотную к торцу гильзы, примыкает устройство для подачи технологической смазки, обеспечивающее ее равномерное распределения по граням рабочей полости.

С целью оснащения кристаллизаторов системой электромагнитного перемешивания все элементы конструкции, расположенные между гильзой и катушками устройства перемешивания, выполнены из немагнитной стали.

В нижней части корпуса кристаллизатора вмонтирован коллектор подвода воды на 1-ю зону вторичного охлаждения, к которому крепятся стояки с форсунками.

Сборка, настройка и опрессовка кристаллизаторов производится на специальных стендах в мастерской по подготовке кристаллизаторов.

Материал гильз кристаллизаторов – раскисленная медь марки М1Ф.

Рабочая поверхность гильз защищена слоем хромированного покрытия, толщиной около 0,1 мм.

Для ограничения выпучивания граней слитка, под кристаллизатором устанавливаются поддерживающие ролики.

Система охлаждения гильз кристаллизаторов представляет собой замкнутый, локальный оборотный контур.

Система замкнутого оборотного контура охлаждения кристаллизаторов, с целью сокращения площадей, снижения гидравлических потерь, уменьшения длин магистральных трубопроводов и мощностей насосных агрегатов выполняется максимально компактной.

В водоразборном узле каждая секция охлаждения кристаллизатора, оснащена запорной и регулирующей аппаратурой, контрольно-измерительными приборами.

Управление расходом воды первичного охлаждения осуществляется посредством АСУТП.

Охлаждающая вода постоянно циркулирует в локальном замкнутом контуре и подвергается обратному охлаждению в теплообменниках.

При соблюдении водно-химического режима эксплуатации, созданная оборотная система первичного охлаждения обеспечивает выполнение своих главных функций:

— надежное снабжение кристаллизаторов водой в соответствии с заданными параметрами;

— нормативные параметры оборотной воды (температуру, содержание взвешенных веществ, скоростей образования отложений, коррозии металла, биологических отложений, эффективность реагентной обработки).

В системе используется умягченная или полностью обессоленная вода.

Предусмотрена также подпитка данного контура, с учетом потерь воды происходящих при замене кристаллизаторов.

Система аварийного охлаждения кристаллизаторов предназначена для обеспечения функций безопасного прекращения процесса непрерывной разливки стали в ситуации, когда произошло внезапное прекращении подачи воды от основной системы охлаждения.

Аварийная система обеспечена минимумом необходимой воды, на время до 5 минут, для оперативного прекращения подачи жидкого металла в кристаллизаторы и вывода заготовок из МНЛЗ. В случае аварийного снижения расходов воды на охлаждение гильз кристаллизаторов ниже 900 л/мин или

повышения перепада температуры воды на входе и выходе из кристаллизаторов более 12 °С, во избежание проплавления гильзы, разливку стали прекращают.

Аварийную систему, ни в коем случае, нельзя использовать для продолжения разливки. Разливка без охлаждения может привести к взрыву.

Для минимизации температуры и термических деформаций стенки гильзы, в кристаллизаторе поддерживается высокая скорость протока охлаждающей воды (не менее 12 м/с). Кроме того, высокая скорость воды необходима для предотвращения локального вскипания воды на поверхности медной стенки.

Вскипание воды ведет к отложениям накипи на гильзе, что увеличивает сопротивление теплопередачи от корочки слитка к воде и вызывает перегрев стенок гильзы (например, отложения известковой накипи толщиной 0,1 мм способствуют увеличению температуры стенки гильзы почти на 100 °С). Повышение температуры медной стенки выше температур рекристаллизации меди, неизбежно приводит к деформации стенок гильзы в районе мениска жидкого металла и, соответственно, искажению профиля рабочей поверхности гильзы.

При обычном ведении процесса разливки температура внутренних стенок гильзы не превышает 260 °С (то есть ниже температуры разупрочнения материала гильз), однако в случаях низкой скорости протока воды в кристаллизаторе, неравномерного охлаждения или значительных отложений накипи на внешних поверхностях гильз температура может повышаться до 300-400 °С и происходит их грубая деформация.

Центровка обечайки относительно гильзы, выполненная с недостаточной точностью, приводит к перераспределению потоков охлаждающей жидкости и, также, становится причиной неравномерного теплоотвода от граней заготовки и локального перегрева стенок гильзы.

Другим фактором, влияющим на степень деформации гильзы, является качество охлаждающей воды. При высоком содержании солей в охлаждающей воде происходит процесс интенсивного отложения накипи на внешней поверхности гильзы.

Отложения накипи толщиной 20 мкм почти удваивают величину горячей деформации (выпучивание) гильзы.

Очевидно, также, отрицательное влияние данного фактора на глубину следов качания, ромбичность, околоугловые трещины, прорывы.

Исходя из этого, предъявляются достаточно жесткие требования к качеству воды используемой для охлаждения кристаллизаторов.

Перед установкой на МНЛЗ каждый кристаллизатор подлежит тщательному осмотру. После разливки каждой серии плавок оператор очищает, с помощью специальной жидкости, стенки гильз от нагара и визуально оценивает их состояние.

Отбраковка гильз, обычно, производится в следующих случаях: при высокой деформации профиля, при наличии значительных дефектов на рабочей поверхности (особенно в верхней части гильзы), при высоком механическом износе в нижней части гильз.

При износе в нижней части гильзы на величину более 1 мм могут отмечаться массовые прорывы металла по трещинам, повышение ромбичности

НЛЗ и образование продольных трещин на поверхности заготовок. Грубые задиры и царапины на рабочих поверхностях гильзы (особенно, если они расположены в верхней части гильзы и имеют глубину более 0,5 мм) могут привести к подвисаниям слитка в кристаллизаторе, обрыву слитка или образованию поверхностных трещин.

Для того, чтобы предотвратить данные отклонения необходимо осуществлять регулярный контроль за износом гильз с помощью специальных приборов (например ММІ-3000).

С помощью ММІ-3000 возможен обмер гильз в мастерской по подготовке кристаллизаторов или непосредственно на МНЛЗ во время переподготовки установки. Обмер гильзы на МНЛЗ выполняется через заданное регламентное время (после эксплуатации кристаллизатора в течение разливки 50-100 плавок стали) или при отклонениях процесса разливки из-за кристаллизатора. Обмер гильз на МНЛЗ позволяет отслеживать изменение их размеров без замены кристаллизаторов, что существенно сокращает продолжительность переподготовки установки.

Замена кристаллизаторов на МНЛЗ производится по следующим причинам:

- достижение гильзой предревизионной стойкости;
- два прорыва подряд по трещине в ходе эксплуатации;
- ромбичность заготовок выше допустимых значений;
- появление течи воды через уплотнения;
- утечка смазки или засорение каналов для подачи смазки, которые не удается прочистить без снятия кристаллизатора;
- "чулок" или слиток металла в гильзе после окончания разливки.

Браковочные признаки гильз кристаллизаторов:

- дефекты на рабочей поверхности (задиры, раковины, царапины и др. на расстоянии 100 - 250 мм от верхнего торца – глубиной более 0,5 мм, а на расстоянии 250 - 1000 мм от верхнего торца – глубиной более 1,0 мм);
- ступенчатое изменение размеров гильзы по длине – на величину более 0,5 мм (искажение профиля гильзы определяется по отклонению пика деформации от заданного профиля в том же сечении);
- износ в нижней части гильзы (увеличение размеров с уровня 400-600 до 800 мм) более чем на 1,0 мм.

Для снижения сил трения между слитком и гильзой кристаллизатора, исключения прилипания корочки слитка к стенкам гильз, применяется специальная технологическая смазка.

При разливке сталей открытой струей в качестве технологической смазки используются растительные или синтетические масла. При отливке блюмов и слябов применяют шлакообразующие смеси.

Подача технологической смазки к кристаллизаторам производится от маслостанции по магистральному маслопроводу под необходимым давлением. Каждый кристаллизатор МНЛЗ подключается к магистральному трубопроводу быстроразъемным соединением. В конструкции кристаллизатора предусмотрено устройство, обеспечивающее подвод и равномерное распределение смазки по граням гильзы.

Количество подаваемой смазки выбирается в зависимости от сечения отливаемых заготовок, марки стали и скорости вытягивания НЛЗ.

Большое влияние на стабильность процесса разливки оказывает равномерность подачи масла на грани гильзы. При неравномерном поступлении или отсутствии смазки на участке контакта стенок гильзы с корочкой слитка, может возникнуть режим сухого трения.

Силы трения на данном участке резко возрастут, что может стать причиной зависания корочки на стенке гильзы и обрыва заготовки на выходе из кристаллизатора.

Одним из факторов, непосредственно влияющих на качество формирующейся корочки, является характеристика используемого в качестве технологической смазки масла.

При разливке на МНЛЗ в качестве смазки стенок гильз кристаллизаторов можно использовать рапсовое масло.

Качество рапсового масла рекомендуется оценивать по 3-м основным параметрам:

- температура вспышки (не ниже 230 °С);
- содержание влаги и летучих веществ (не более 0,15 %);
- должны отсутствовать нежировые примеси.

Пробы для контроля качества масла должны отбираться еженедельно.

Ориентировочный удельный расход рапсового масла при разливке стали на МНЛЗ составляет $0,08 \div 0,10$ кг/т.

Система автоматики дозирует расход масла в зависимости от скорости разливки стали.

При отливке заготовок сечением более 150x150 мм в кристаллизаторах применяются шлакообразующие смеси.

При подаче ШОС на зеркало металла в кристаллизатор образуется гарнисаж, который выполняет функции технологической смазки и защищает поверхность стали от вторичного окисления. Заполняя зазор между гильзой и корочкой слитка, шлакообразующая смесь увеличивает величину и равномерность теплоотвода в кристаллизаторе.

Ориентировочные технические характеристики ШОС:

1. Химический состав:

- $C_{\text{общий}}$, % 20 ÷ 25 ;
- SiO_2 , % 25 ÷ 30 ;
- $CaO + MgO$, % 23 ÷ 27 ;
- Al_2O_3 , % 10 ÷ 15 ;
- $Na_2O + K_2O$, % 3 ÷ 6 ;
- Fe_2O_3 , % 3 ÷ 6 .

2. Содержание влаги – менее 1,0 %.

3. Насыпная плотность – 0,6 – 0,8 кг/дм³.

4. Фракционный состав:

- до 63 мкм – 60 – 70 %;
- 63-125 мкм – 20 – 30 %;
- 126-500 мкм – до 10 %;
- более 500 мкм – менее 0,5 %.

Ориентировочный удельный расход ШОС в кристаллизаторы, в зависимости от используемого типа засыпки и марки разливаемой стали, составляет – $0,5 \div 1,2$ кг/т.

Подача ШОС в кристаллизаторы осуществляется в ручном режиме.

Необходимо осуществлять постоянный контроль влажности смазочных материалов из-за опасности образования пузырей на поверхности заготовок.

Одним из условий обеспечения стабильности технологического процесса и качества поверхности заготовок при непрерывной разливке стали является стабильность заданного уровня металла в кристаллизаторе.

В процессе разливки уровень металла в кристаллизаторах может поддерживаться двумя способами:

— управлением скоростью вытягивания заготовок через ТПМ (безостановочная разливка);

— позиционированием стопоров промежуточного ковша.

Система поддержания уровня металла в кристаллизаторе, реализуемая через управление скоростью вытягивания НЛЗ работает в двух режимах:

— автоматический – при этом величина скорости задаётся от PLC (программируемого логического контроллера).

— ручной – при этом величина скорости задаётся разливщиком при помощи потенциометра с пульта находящегося на рабочем месте.

При данном способе поддержания уровня металла в кристаллизаторе разливщик, с пульта, может сделать выбор автоматического или ручного режима работы.

Автоматический – при этом величина рабочей скорости задается оператором на ЦПУ, а массовым расходом металла из промковша управляет автоматизированная система позиционирования стопором, связанная с системой измерения уровня металла в кристаллизаторе.

Ручной - оператором на ЦПУ задается постоянная величина рабочей скорости разливки, а поддержание уровня выполняется разливщиком, управляющим рычажным механизмом позиционирования стопора.

Требуемая точность поддержания уровня, для любого из отмеченных способов автоматического регулирования составляет ± 5 мм.

Точность поддержания уровня в ручном режиме, для любого из способов, зависит от квалификации разливщика.

В качестве автоматической системы измерения уровня металла в кристаллизаторах может применяться радиометрическая система фирмы «Berthold», которая также используется для режима автоматического запуска ручьев МНЛЗ.

Система включает:

— источник ионизирующего излучения $Co\ 60$, помещенный в защитный экран;

— сцинтилляционный датчик;

— измерительные контроллеры.

Источник и детектор устанавливаются с противоположных сторон вне корпуса кристаллизатора. Гамма-излучение от источника направлено через кристаллизатор на детектор.

Повышение или понижение уровня металла в кристаллизаторе влияет на поглощение излучения, регистрируемое детектором.

Сигнал от детектора обсчитывается процессором, обеспечивающим аналоговый выход 0,4-20 мА по рабочему уровню металла в кристаллизаторе и релейные выходы по максимальному, минимальному и аварийному уровням.

Рабочий диапазон действия датчика – контроль за уровнем металла в кристаллизаторе на участке 100 – 250 мм от верхнего торца гильзы.

В системах используется бесконтактный принцип измерения, поэтому на работу системы не влияет температура, запыленность, загазованность.

За счет использования эффективных сцинтилляционных детекторов обеспечивается низкий уровень излучения при работе системы.

Оптимальный уровень металла в кристаллизаторах при непрерывной разливке – 150 мм от верхнего среза гильзы.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие функции выполняет кристаллизатор?
2. По принципу работы, что представляет собой кристаллизатор?
3. Какой оптимальный уровень металла в кристаллизаторах при непрерывной разливке?
4. Назначение кристаллизатора?
5. Подача ШОС в кристаллизаторы осуществляется в каком режиме?
6. Можно ли использовать аварийную систему для продолжения разливки?
7. К чему может привести разливка без охлаждения?
8. Назначение системы аварийного охлаждения кристаллизаторов?
9. Охлаждающая вода постоянно или временно циркулирует в локальном замкнутом контуре и подвергается обратному охлаждению в теплообменниках?
10. При соблюдении водно-химического режима эксплуатации, созданная обратная система первичного охлаждения обеспечивает выполнение своих главных функций, перечислите их.
11. В системе охлаждения кристаллизаторов, какая система охлаждения кристаллизаторов используется вода?

Использованная литература:

С.В. Куберский «Непрерывная разливка стали»