



The carried out complex of measures at reconstruction of bloom MNLZ-3 made it possible to receive a high-quality slug, to reduce the quantity of defects, to master the new type of production.

А. В. ДЕМИН, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

НАПРАВЛЕНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ БЛЮМОВОЙ МНЛЗ-3 НА УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА И УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Техническое решение характеризуется выбором высококачественного и высокопроизводительного оборудования, благодаря которому можно добиться исключительно эффективных производственных результатов при незначительном количестве работающих и невысоком удельном энергопотреблении, что делает машину непрерывной разливки заготовок высококонкурентоспособной (рис. 1).

Использование гильзового кристаллизатора. Многоконусная конструкция трубчатой гильзы кристаллизатора и толщина ее стенки преследуют цель предотвращения остаточной деформации под воздействием температуры. Деформация гильзы кристаллизатора могла бы привести к значительному снижению срока службы кристаллизатора и повлечь за собой появление глубоких следов качания и дефектов формы у заготовок.

Гильза кристаллизатора имеет многоконусную конструкцию, для того чтобы компенсировать усадку заготовки и поддерживать контакт между заготовкой и кристаллизатором. Правильный выбор многоконусной конструкции обеспечивает максимальный контакт до самого низа кристаллизатора и, тем самым, снижает возможность трещинообразования и дефектов формы, таких, как скошенность стенок прямоугольника.

Конструкция кристаллизатора предусматривает высокую скорость воды в зазоре. Это направлено на поддержание температуры меди на достаточно низком уровне, чтобы избежать закипания воды, в особенности возле мениска. Неконтролируемое кипение характеризуется нестабильной теплопередачей с периодическими изменениями температуры медной стенки.

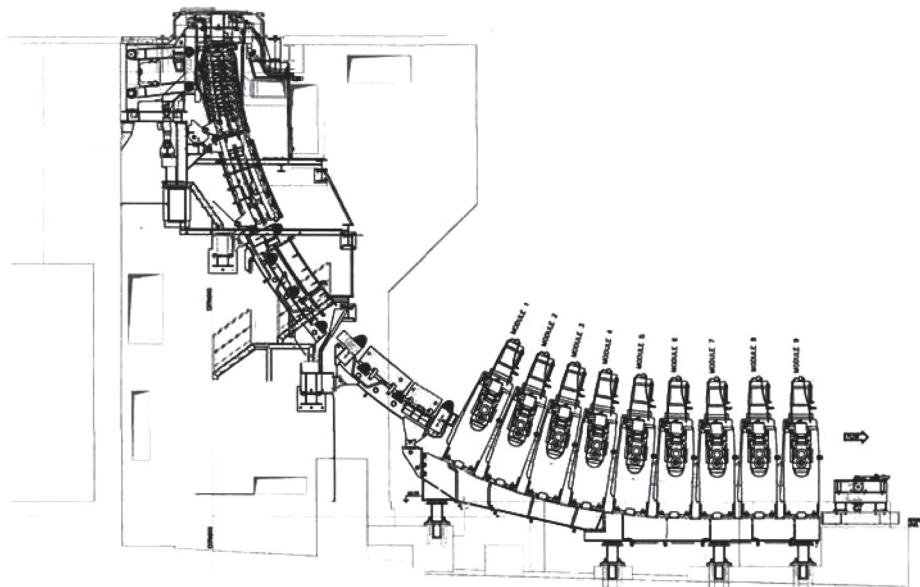


Рис. 1. Схема непрерывной разливки блюмовых заготовок сечением 250×300 и 300×400 мм и круга сечением 200 мм на четырехручьева МНЛЗ (после реконструкции)

Подобная ситуация ведет к остаточной деформации гильзы. Более того, повышение температуры стенки способствует осаждению растворенных солей. Возникновение кипения зависит не только от скорости воды, но также и от давления в зазоре кристаллизатора. Фактически существует хорошо известная связь между температурой кипения и давлением.

Ширина зазора между гильзой кристаллизатора и рубашкой находится в диапазоне 3,25–4,00 мм с высокой точностью по допускам. Это решение является оптимальным с точки зрения предъявляемых требований к высокой скорости воды и практических ограничений, существующих вследствие падения давления в кристаллизаторе. Для обеспечения постоянства водяного зазора водяная рубашка подвергается механической обработке с узким допуском.

Рекомендуется применение опорных роликов под кристаллизатором. Для каждого сечения предусматриваются два ряда опорных роликов, которые предназначены для вывода заготовки из кристаллизатора. При отсутствии направления хода заготовки она может поцарапать стенку дна кристаллизатора, сокращая, тем самым, срок его службы и вызывая появление дефектов бляма (рис. 2).

Практический опыт работы на аналогичных разливочных машинах показал, что при правильной эксплуатации и техническом обслуживании средний срок службы медной трубчатой гильзы кристаллизатора составляет более 250 плавков для

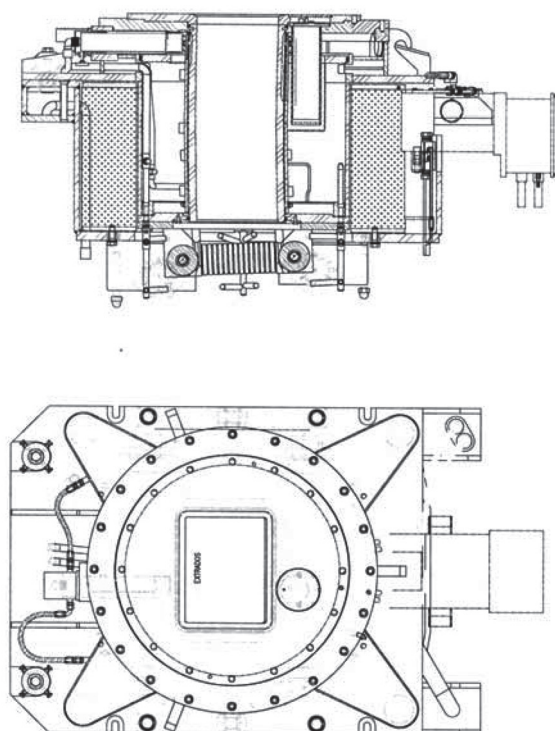


Рис. 2. Кристаллизатор сечением 250x300 мм

круглых заготовок диаметром 200 мм, для сечения 250×300 и 300×400 мм – более 350 плавков.

Применение более совершенного магнитного перемешивания в кристаллизаторе. Для улучшения качества и одновременно достижения большей гибкости в режимах эксплуатации предложена установка в кристаллизаторе катушек электромагнитного перемешивания (КЭМП) по следующим причинам:

- улучшается качество поверхности и чистота подповерхностного слоя;
- расширяется область применения легированной технической стали (применение в условиях повышенных требований или с более низкой степенью обжата) вследствие улучшения внутреннего качества (микроструктура, центральная пористость);
- дает большую гибкость в эксплуатации, делая возможным увеличение скорости разливки и перегрев промковша без негативных последствий.

Для среднеуглеродистых и низколегированных марок стали (таких, как большая часть технических марок стали) требования технологического процесса их производства направлены на снижение разницы в химическом составе вдоль оси. Подобные марки стали, как правило, не показывают сильную сегрегацию как высокоуглеродистые марки. Обычно более важно обеспечить хорошую структуру затвердевания и отсутствие пористости. Подобных эффектов можно достичь при сравнительно низкой интенсивности перемешивания. Однако для высокоуглеродистых марок стали целью является снижение рассеяния вдоль оси, а также пика сегрегации на центральной линии.

Электромагнитное перемешивание оказывает позитивное влияние как на качество поверхности, так и на внутреннее качество.

Качество поверхности.

- Значительно сокращается количество включений на поверхности и в подповерхностном слое и их распределение по поперечному сечению слитка более однородное. Ротация жидкой стали создает центробежную силу, которая убирает включения от увеличивающегося фронта затвердевания. Включения будут всплывать наружу и оставаться в центре мениска и удерживаются от вовлечения в затвердевающую оболочку.

- Прилипание шлака исключается вследствие его удаления от стенки кристаллизатора и сбора в центре мениска.

- Резко сокращается количество раковин, газовых пузырей и пор в подповерхностной зоне, потому что движением жидкой стали пузырьки газа удаляются от фронта затвердевания.

Для достижения подобного улучшения поверхности и подповерхностного слоя катушка электромагнитного перемешивания должна быть рассчитана на высокую интенсивность перемешивания и установлена в высоком положении вблизи от мениска.

Внутренне качество.

- Улучшение теплопередачи от жидкой стали к корке. Благодаря более раннему рассеянию перегрева приостанавливается образование структуры дендрита и по центру образуется более большая равноосная структура.

- Центральная пористость эффективно снижается благодаря равноосной структуре, исключению образования мостов дендрита и образованию мини-слитков.

- Равноосная структура в центре сильно снижает также распространение и флуктуацию центральной сегрегации углерода и легирующих элементов.

Система электромагнитного перемешивания запроектирована и изготовлена фирмой «Danieli Rotelec». Фирма «Rotelec» первоначально разработала технологию перемешивания для заготовок и блюмов в 1968 г., а в промышленном производстве она впервые применена в 1973 г. Преимущества системы перемешивания фирмы «Danieli Rotelec»:

- технология специально разработана для применения при производстве заготовок и блюмов, а не является адаптацией технологии, основанной на перемешивании полый медной гильзы слябовой МНЛЗ;

- плотность тока доведена до максимума на имеющемся пространстве: сохраняя тот же диапазон уровня мощности, электромагнитное перемешивание фирмы «Rotelec» являются наиболее компактными существующими КЭМП;

- минимальные пространственные гармоники магнитного поля благодаря кольцевой форме обмоток;

- значительная эффективная длина перемешивания;

- полная и реальная независимость электрической части каждого ручья, обеспеченная гальваноизоляцией, представленной одним согласующим трансформатором на каждой линии.

Гидравлический механизм качания кристаллизатора. Технология гидравлического механизма качания фирмы «Danieli» позволяет изменять частоту, амплитуду и форму качания во время разливки с целью оптимизации качества поверхности заготовки. Благодаря внедрению гидравлического качания кристаллизатора были достигнуты следующие улучшения: сокращение глубины

следов качания ориентировочно на 50%; получение следов качания более правильной и ровной формы; более высокое качество поверхности проката низко-, средне- и высокоуглеродистых марок стали.

Основным параметром, который учитывался при расчете параметров качания, является время отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору определяется как интервал времени, в течение которого кристаллизатор движется быстрее при том же значении скорости разливки. Ее зависимость по отношению к параметрам качания выражается следующей формулой:

$$NST = \frac{60}{\pi f} \cdot \arccos\left(\frac{V_c}{\pi fs}\right),$$

где V_c – скорость разливки, м/мин; f – частота качания, качаний/мин; s – амплитуда, м.

Время отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору имеет прямое отношение к глубине следов качания. Мелкие следы качания имеют место, когда кристаллизатор качается с высокой частотой и сравнительно короткой амплитудой, обеспечивая короткое время отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору. Практический опыт показывает, что оптимальная величина t_n составляет около 0,12 с.

Предпосылкой для изменения частоты при изменении скорости разливки является поддержание постоянного показателя времени отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору. Получаемый на основании этого расчет вводится в систему управления АСУ непрерывной разливки для работы в автоматическом режиме.

Амплитуда и частота качания будут определяться на основании оптимального времени отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору и скорости разливки; оба показателя важны для подбора оптимального режима, обеспечивающего наилучшее качество поверхности заготовки.

Так называемое опережение кристаллизатора (ML) является дополнительным фактором, который влияет на качество поверхности. ML определяется как часть полной амплитуды качания, покрываемой кристаллизатором во время отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору:

$$ML = S \sin(\pi FT_n) - V_c T_n,$$

где S – полная амплитуда, мм; F – частота, качаний/мин; $T_n = NST/60$, с; V_c – скорость разливки, м/мин.

Показатели *ML* в диапазоне 3,0–5,5 мм создают условия трения между заготовкой и кристаллизатором, приводящие к удовлетворительному качеству поверхности слитка. Показатели *ML* ниже 2 мм приводят к недостаточному взаимодействию между стенками кристаллизатора и поверхностью стали (может иметь место прилипание). При показателях *ML* свыше 5,5 мм соответствующее избыточное взаимодействие приводит к нерегулярным и глубоким следам качания, отрицательно сказывающимся на качестве поверхности заготовки.

Новая конструкция вторичного охлаждения слитка с применением комбинированного: водяного и водовоздушного охлаждения форсунами. Конструкция обеспечивает быструю и правильную скорость затвердевания и предотвращает появление металлургических дефектов как поверхностных, так и внутренних. Это достигается снижением подогрева поверхности в конце охлаждения струйным душированием; сведением к минимуму разницы в скорости охлаждения между центром и углами граней слитка путем соответствующего расположения душирующих форсунок.

Регулировка расхода: по две независимые системы для каждой зоны каждого ручья, для обеспечения сбалансированного охлаждения бьюма (внутренний-внешний радиус, боковые стороны) отдельный контур для внутреннего – внешнего радиуса и отдельный контур для боковых сторон.

Система охлаждения подразделяется на ряд независимых зон охлаждения в зависимости от требований по разливаемым размерам, скорости разливки и маркам стали. Каждая зона охлаждения управляется индивидуально с помощью системы автоматики 2-го уровня. Такая конструкция преследует цель обеспечения идеального режима охлаждения (который характеризуется минимальными механическими напряжениями), позволяющего постепенно сократить коэффициент теплопередачи от кристаллизатора к концу зоны охлаждения, где охлаждение происходит только путем естественной конвекции воздуха и излучения. По этому же принципу определяется и оптимальная длина охлаждения. Такое распределение интенсивности охлаждения является наиболее эффективным с точки зрения длины в жидком состоянии и средней температуры заготовки.

Проект системы струйного душирования основан на математической модели затвердевания и теплопередачи. Компьютерные программы определяют наилучшее расположение системы струйного душирования на основе предварительно рассчитанного теоретического режима теплопередачи.

Многоточечная зона правки на радиусе. Решение с применением правки по множественным радиусам обеспечивает прогрессивную деформацию слитка и удерживает его удлинение ниже критических для образования трещин величин в каждой точке правки.

В основу проекта системы правки положены минимальные величины удлинения (табл. 1) для предотвращения возможности образования внутренних дефектов даже при самых жестких условиях разливки.

Зона правки спроектирована для выполнения правки слитка с жидкой сердцевиной. При проектировании руководствовались необходимостью снижения напряжений, действующих на заготовку, и необходимостью предотвращения трещинообразования.

Факторами, влияющими на тенденцию образования трещин в стали, являются структура первичного затвердевания (аустенитная или ферритная) и тенденция к образованию легкоплавких сульфидов (определяемых соотношением Mn/S). Ряд марок стали характеризуется особо выраженной тенденцией к образованию трещин во время правки. Это зависит как от химического состава, так и температуры стали во время правки. На этой фазе могут образовываться как внутренние, так и поверхностные трещины:

- при правке слитка с жидкой сердцевиной могут образовываться внутренние междендритные трещины, если напряжение при правке на поверхности раздела твердого/жидкого состояний окажется выше, чем предел прочности стали на растяжение или разрыв при температуре межфазной границы; следует отметить, что температура межфазной границы находится в пределах хорошо известного высокотемпературного диапазона ломкости;
- могут образовываться поверхностные трещины, соответствующие диапазону ломкости между 700 и 850 °С; точная регулировка вторичного охлаж-

Т а б л и ц а 1. Величины удлинения

Группа стали	1	2	3
Максимальное удлинение поверхности раздела твердое/ жидкое состояние, %	0,30–0,35	0,15–0,20	0,08–0,10
Максимальное удлинение на поверхности заготовки, %	0,9	0,9	0,9

дения с целью поддержания температуры поверхности при правке порядка 950–1000 °С может решить эту проблему.

Система мягкого обжата. Система динамического мягкого обжата заключается в незначительном обжатии бляма по толщине на участке закрытия жидкого конуса. Технологический процесс, целью которого является повышение внутреннего качества заготовок, осуществляется динамически путем задания соответствующего раствора валков правильно-тянущего агрегата для обеспечения требуемого обжата.

Правильно-тянущий агрегат состоит из девяти идентичных и взаимозаменяемых модулей трайб-аппарата (рис. 3). На каждом модуле можно осуществить мягкое обжатие с хорошими результатами универсальности и эксплуатационных показателей.

Технология мягкого обжата DSR может применяться на длине свыше 8,8 м и благодаря узкому шагу расположения роликов можно постоянно обеспечить лучшие металлургические условия (f_s) по местам расположения трайб-аппаратов и приложить обжатие в нескольких точках (≥ 3).

Для расчета длины жидкого конуса и процентного соотношения твердой фракции, оптимальной работы валков необходима оперативная математическая модель затвердевания. Положение валков управляется специальной системой автоматизации (позиционными датчиками, установленными на цилиндры трайб-аппаратов, и специальной гидравлической системой).

Опыт фирмы «Danieli», а также опыт изготовителей стали, использующих технологию мягкого обжата, показывает, что оптимальное положение для начала и завершения зоны мягкого обжата находится в следующей зависимости от положения твердой фракции: $F_s > 0,2$ и $F_s < 0,8$ соответственно для всего марочного сортамента сталей.

Главными преимуществами, обеспечиваемыми мягким обжатием в отношении повышения внутреннего качества бляма, являются сокращения центральной пористости и выделения углерода.

Существуют два метода применения мягкого обжата.

Статический, при котором зона мягкого обжата задается в одном положении разливочной машины. Это наиболее простой метод, который, тем не менее, имеет эксплуатационные ограничения, поскольку для его применения необходима фиксированная скорость разливки для всех разливаемых блямов.

Динамический, при котором зона мягкого обжата фактически перемещается вверх и вниз по разливочной машине туда, где располагается конечная точка затвердевания стали на разливочной машине. Несмотря на то что данный метод является более сложным с точки зрения управления, он позволяет обеспечить более высокую степень гибкости при разливке, которая дает возможность выполнить программы производства сталеплавильного цеха и настроить работу машины с учетом переходных состояний разливки (т. е. перегревы, смены промковшей и др.). Для обеспечения динамического мягкого обжата будет использоваться оперативная модель затвердевания с поставкой соответствующего программного обеспечения, которое будет информировать соответствующие модули о том, когда и где следует прилагать мягкое обжатие.

Система динамического мягкого обжата Danieli-DDSR является очень эффективным техническим решением при мягком обжатии. Отличительная особенность системы DDSR – ее конструкция в составе из девяти модулей для каждого ручья с узким шагом расположения модулей по отношению друг к другу (табл. 2).

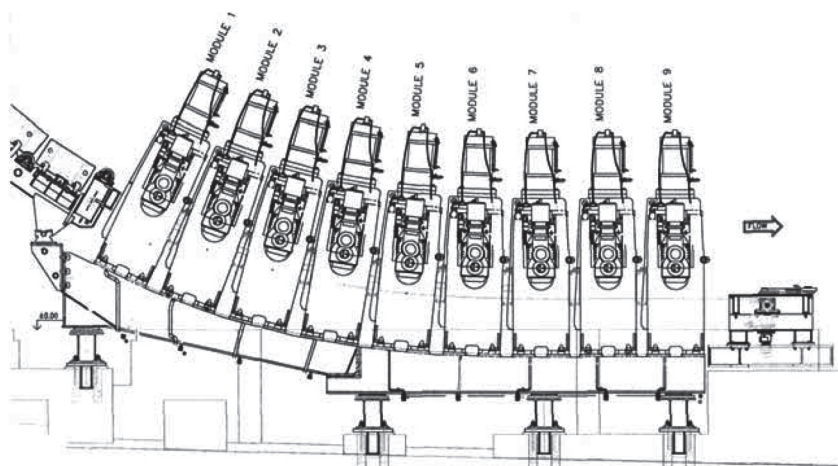


Рис. 3. Правильно-тянущий агрегат мягкого обжата

Т а б л и ц а 2. Расположение модулей от мениска металла

Номер модуля	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расстояние от мениска, м	15	16,2	17,4	18,6	19,8	21	22,2	23,4	24,6
Радиус, м	13	13	13	13/ 18	18	18/34	34 / ∞	∞	∞
Модуль в процессе мягкого обжатия	нет	да	да	да	да	да	нет	нет	нет

Холодильник охлаждения круга диаметром 200 мм. Холодильник на шагающих балках спроектирован для транспортировки только круглых заготовок диаметром 200 мм. Для правильного расчета холодильника на шагающих балках важно определить наиболее неблагоприятный случай с учетом следующих условий: средняя расчетная температура заготовки на входе в холодильник составляет 900 °С; максимальная скорость разливки для четырех ручьев; максимальная температура на выходе 600 °С.

Общая длина холодильника – 16 м, шаг позиций укладки на холодильнике – 300 мм.

Температура заготовки на выходе (наихудший случай) – выше 600 °С (5,5 м)

Выводы

Выполненный комплекс мероприятий при реконструкции, связанный с усовершенствованием

качества литой заготовки, позволил получить высококачественную заготовку; снизить количество дефектов на 30% (поверхностные трещины, ликвационные полосы, осевая ликвация, заporоченность шлаковыми включениями), характерных для всего марочника разливаемых сталей; повысить производительность МНЛЗ-3 на 26% за счет увеличения скоростей разливки; освоить новый вид продукции – непрерывнолитую круглую заготовку для производства цельнотянутой трубы. В свою очередь это приведет при производстве круглой литой трубной заготовки на МНЛЗ-3 к исключению дальнейшего передела на стане 850, что позволит сократить затраты и получить экономию по переделу; увеличить конкурентоспособность РУП «БМЗ» на мировом рынке металлопродукции, в частности рынке металлокорда и труб различного назначения с повышением рентабельности производства.