



*Set of activities performed by the machine for continuous casting mill № 3 has enhanced its productivity and also master a new product - continuous casting round billet for seamless drawn pipes in tube-rolling shop.*

А. А. СОТНИКОВ, А. В. ДЕМИН, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, ОАО «БМЗ»

УДК 669.24

## КОМПЛЕКСНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ БЕЛОРУССКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

В период 2009–2010 гг. в электросталеплавильном цехе № 2 проведена комплексная реконструкция машины непрерывного литья блюмовых заготовок № 3. Рассчитанная в соответствии с контрактной документацией на производительность 350 тыс. т в год, к 2008 г. МНЛЗ-3 фактически уже перешагнула 700-тысячный рубеж. Этому способствовала ее частичная модернизация, проведенная в 1998 г., которая была направлена на увеличение производительности и повышения качества блюмов. Основным сортаментом разливаемых на машине заготовок являются блюмы сечением 250×300 и 300×400 мм, длиной 2,5–5,5 м из углеродистых и низколегированных марок стали.

Учитывая дальнейшие планы по увеличению объемов производства второго электросталеплавильного цеха до 1 млн. т, а также острую потребность в круглой заготовке диаметром 200 мм, предназначенную для нового трубопрокатного комплекса, было принято решение о проведении комплексной реконструкции МНЛЗ-3. Генеральным подрядчиком и поставщиком оборудования на тендерной основе была выбрана итальянская фирма «Danieli».

Технические решения, реализованные в ходе реконструкции, были, в первую очередь, обусловлены высокими амбициозными задачами: добиться значительных производственных результатов: увеличения производительности литейного агрегата, расширения сортамента и обеспечения качества литых блюмов со снижением удельного энергопотребления и минимизацией численности обслуживающего персонала, что позволило бы ввести реконструированную машину в разряд высококонкурентных литейных комплексов.

Схематическое изображение МНЛЗ-3 после реконструкции приведено на рис. 1.

Основные реконструктивные мероприятия: увеличение базового радиуса МНЛЗ от 10 до 13,5 м; замена прямого сборного кристаллизатора на радиальный гильзовый с одновременным исключением вертикального участка ЗВО; увеличение длины ЗВО и переход с водяного на водовоздушное охлаждение; замена электромеханического привода качания кристаллизатора на гидравлический; увеличение числа трайб-аппаратов правильно-тянущего механизма до 9 на каждый ручей с внедрением систем многоточечного разгиба и динамического мягкого обжатия блюмов; комплекс сменного оборудования и установка холодильника для разливки и охлаждения блюмов круглого сечения диаметром 200 мм.

### Конструкция гильзового кристаллизатора

Гильза кристаллизатора имеет многоконусную конструкцию, позволяющую поддерживать максимальный контакт между образовавшейся корочкой и стенкой кристаллизатора до самого его низа, что снижает возможность трещинообразования и де-

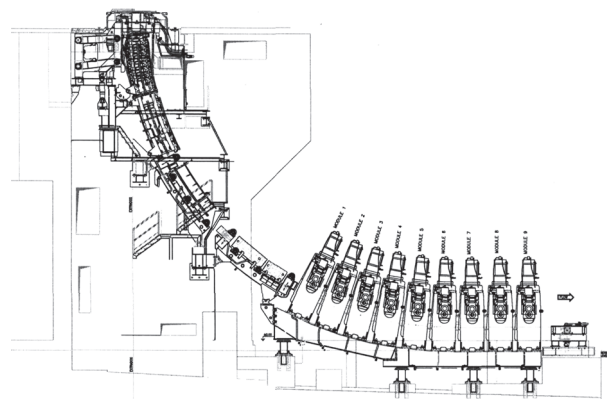


Рис. 1. Схема четырехручьевой машины непрерывной разлики блюмов прямоугольного сечения 250×300 и 300×400 мм и круглого сечения 200 мм (после реконструкции)

фектов формы, таких, как скошенность стенок прямоугольника, а также преследующую 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.

Конструкция рубашки охлаждения предусматривает высокую скорость воды в зазоре, что направлено на поддержание температуры медной стенки на достаточно низком уровне, чтобы избежать закипания воды, в особенности в критической зоне возле мениска. Ширина зазора между гильзой кристаллизатора и рубашкой находится в диапазоне 3,25–4,00 мм. Это решение является оптимальным с точки зрения предъявляемых требований к скорости протока воды и практических ограничений, существующих вследствие падения давления воды в кристаллизаторе. Для обеспечения постоянства водяного зазора водяная рубашка подвергается механической обработке с узкими пределами допуска.

Непосредственно под гильзой кристаллизатора располагается ряд опорных роликов, основное назначение которых заключается в поддержании заготовки на выходе из кристаллизатора. При их отсутствии заготовка может оцарапать стенку нижней части гильзы, сокращая, тем самым, срок ее службы и вызывая появление дефектов поверхности бляма. Схематически конструкция кристаллизатора показана на рис. 2.

Практический опыт работы показал, что при правильной эксплуатации и техобслуживании средний срок службы медной трубчатой гильзы кри-

сталлизатора составляет более 500 плавков для круглых заготовок диаметром 200 мм, для сечения 250×300 и 300×400 мм – более 700 плавков.

### Механизм качания кристаллизатора

Гидравлический привод механизма качания фирмы Danieli в отличие от старого электромеханического позволяет изменять параметры возвратно-поступательного движения – частоту и амплитуду во время разливки в зависимости от температурно-скоростных режимов движения 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 всего производимого сортамента.

Основным показателем, который учитывался при определении параметров качания, является время отставания движения заготовки по отношению к кристаллизатору. Оно определяется как интервал времени, в течение которого кристаллизатор движется быстрее при постоянном значении скорости разливки. Его зависимость от параметров качания выражается следующей формулой:

$$T_n = \frac{60}{\pi f} \arccos\left(\frac{V_c}{\pi f s}\right),$$

где  $V_c$  – скорость разливки, м/мин;  $f$  – частота качания, качаний в 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.

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:

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

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

Показатели  $ML$  в диапазоне от 3,0 до 5,5 мм создают условия трения между заготовкой и кристаллизатором, позволяющие получать удовлетворительное качество поверхности слитка. Показате-

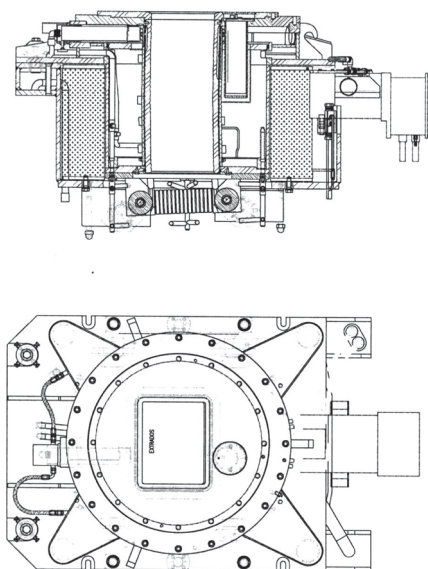


Рис. 2. Конструктивная схема кристаллизатора сечением 250×300 мм

ли  $ML$  ниже 2 мм приводят к недостаточному взаимодействию между стенками кристаллизатора и поверхностью стали, что может повлечь прилипание корочки слитка к стенке. При показателях  $ML$  выше 5,5 мм соответствующее избыточное взаимодействие приводит к нерегулярным и глубоким следам качания и дефектам поверхности заготовки.

**Новая конструкция системы вторичного охлаждения с применением комбинированного водяного и водовоздушного охлаждения**

Конструкция обеспечивает быструю равномерную скорость затвердевания и предотвращает появление металлургических дефектов как поверхностных, так и внутренних. Это достигается за счет удлинения протяженности ЗВО в связи увеличившимися скоростями разливки; повышения эффективности теплоотвода и в то же время более мягкого воздействия на поверхность бьюма за счет применения водовоздушной высокодисперсной смеси; сведения к минимуму разницы в скорости охлаждения между центром и углами граней слитка за счет оптимального расположения душирующих форсунок.

Регулировка расхода охлаждающего агента производится по двум независимым системам для каждой зоны каждого ручья, что обеспечивает сбалансированное охлаждение всех сторон бьюма – отдельно внутренний и внешний радиус, отдельно боковые стороны.

Система вторичного охлаждения подразделяется на ряд независимых зон, каждая из которых управляется индивидуально с помощью системы автоматизации 2-го уровня. Такая конструкция создает режим охлаждения, обеспечивающий минимальные напряжения в теле слитка, и позволяет плавно сократить коэффициент теплопередачи от момента выхода заготовки из кристаллизатора до конца ЗВО, где дальнейший теплоотвод осуществляется только за счет естественной конвекции воздуха и излучения.

**Зона многоточечного разгиба**

В основу принципа системы многоточечного разгиба положены минимальные величины удлинения участков поверхности бьюма, испытывающих растягивающие деформации (см. таблицу), для предотвращения возможности образования дефектов даже при самых жестких условиях разливки.

Зона разгиба спроектирована для выполнения правки слитка с жидкой сердцевиной. Таким образом, при вытягивании слитка происходят плавные переходы от базового радиуса к прямому участку по следующей схеме: сначала от радиуса 13 м к радиусу 18 м, затем от радиуса 18 м к радиусу 34 м и, наконец, от радиуса 34 м к бесконечному. Начало разгиба происходит на удалении от мениска жидкого металла в кристаллизаторе 18,61 м и окончание – на отметке 22,21 м.

Важными параметрами для снижения вероятности трещинообразования в блюмах при разгибе являются температура и скорость разливки, например, чрезмерное охлаждение бьюма до температуры поверхности ниже 850 °С многократно повышает вероятность образования трещин. Точная регулировка вторичного охлаждения с целью поддержания температуры поверхности при правке порядка 950–1000 °С решает эту проблему.

**Система мягкого обжатия**

Спроектированный компанией «Danieli» (Италия) правильно-тянущий механизм состоит из девяти модулей, на каждом из которых предусмотрено обжатие роликами. Для расчета длины жидкого конуса и соотношения доли твердой и жидкой фаз слитка разработана оперативная математическая модель затвердевания, с помощью которой система автоматизации передает соответствующий сигнал на гидроцилиндры трайб-аппаратов. Система DDSR, спроектированная итальянскими специалистами, подразумевает оптимальный диапазон для начала и окончания зоны мягкого обжатия для всего марочного сортамента сталей в следующей зависимости от доли твердой фазы в слитке:  $0,8 > F_s > 0,2$ . Схема правильно-тянущего механизма приведена на рис. 3.

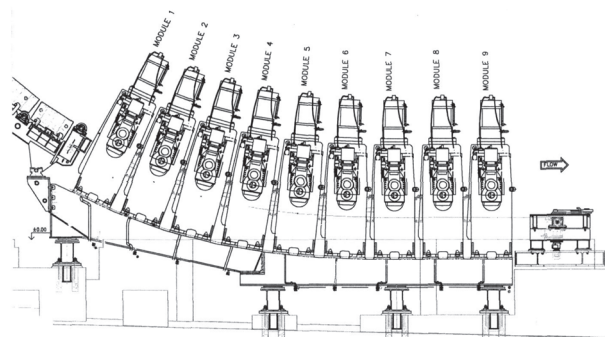


Рис. 3. Правильно-тянущий механизм с системой мягкого обжатия

**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

Положение валков управляется автоматически с помощью позиционных датчиков, установленных на гидроцилиндры трайб-аппаратов.

Использование системы мягкого обжатия позволило повысить скорости разливки на 25 %, при этом получать качество макроструктуры блюмов согласно требованиям нормативной документации.

**Комплекс сменного оборудования и установка холодильника для разливки и охлаждения блюмов круглого сечения диаметром 200 мм**

Указанный комплекс оборудования позволил производить непрерывнолитой блюм круглого сечения диаметром 200 мм, длиной до 9,6 м для последующего производства трубной заготовки, по форме максимально приближенный к конечной

продукции. Использование круглых блюмов позволило исключить их дополнительный передел на стане 850 в горячекатанную заготовку и существенно повысить рентабельность производства бесшовных труб в трубопрокатном цехе.

**Выводы**

Выполненный комплекс мероприятий на МНЛЗ-3 позволил повысить ее производительность на 26 % при обеспечении требуемого уровня качественных характеристик, а также освоить новый вид продукции – непрерывнолитую круглую заготовку диаметром 200 мм для производства трубы, что позволит исключить промежуточный передел на стане 850, сократить затраты и повысить рентабельность производства бесшовных труб в трубопрокатном цехе.