

УДК 621.746.047:669.14

**Макшанцев В. Г.****МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК**

Важнейшей проблемой в области непрерывной разливки стали является обеспечение гарантированного качества металла. Одним из основных дефектов макроструктуры слябовой непрерывнолитой заготовки является осевая рыхлость. При прокатке слябов она трансформируется в щелевые нарушения сплошности металла, расположенные внутри проката [1].

Эффективным методом повышения качества центральной части сляба путем улучшения его внутренней структуры является метод мягкого обжатия в зоне вторичного охлаждения заготовки. Мягкое обжатие слябовой непрерывнолитой заготовки осуществляется путем нажатия верхними роликами сегментов зоны вторичного охлаждения МНЛЗ при стационарном положении нижних роликов и плавном обжатии на несколько миллиметров той части заготовки, внутри которой находится конечная часть лунки жидкого металла [2]. Схематичное изображение процесса мягкого обжатия непрерывнолитой заготовки показано на рис. 1.

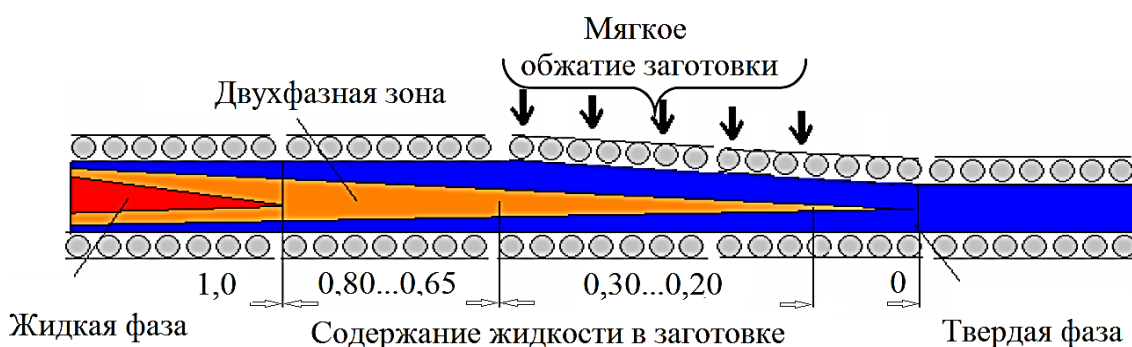


Рис. 1. Схема мягкого обжатия слябовой непрерывнолитой заготовки в процессе разливки

Для управления процессом мягкого обжатия разрабатываются математические модели кристаллизации слитка, в которых учитываются влияние таких факторов на зону затвердевания, как: теплофизические параметры, высота кристаллизатора МНЛЗ, скорость вытягивания слитка, форма сечения заготовки, влияние химического состава разливаемой стали [3–5]. Однако для более эффективного управления процессом мягкого обжатия необходимо учитывать дополнительные значимые факторы: усадка стали по всей длине слитка, конвективный теплоперенос в жидкой и твёрдожидкой фазах и прогнозирование границ области мягкого обжатия.

Целью работы является повышение качества сляба путем разработки усовершенствованной системы управления процессом мягкого обжатия.

Для описания процессов теплопереноса внутри заготовки и расчета поля температуры используется уравнение, отражающее энергетический баланс в системе [6]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho L \frac{df_s}{d\tau}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура, К;

$\tau$  – время, с;

$x, y, z$  – пространственные координаты, м;

$V_x, V_y, V_z$  – компоненты скорости, м/с (отличны от нуля только в области жидкой фазы);

$\rho$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·К);

$\lambda$  – теплопроводность стали, Дж/(м·К·с);

$L$  – удельная теплота кристаллизации, Дж/кг;

$f_s$  – доля твердой фазы.

Таким образом, модель теплофизических процессов дает возможность получить информацию о динамике затвердевания заготовки – координаты границ твердой и жидкой фаз в любой момент времени. Эти данные используются для прогнозирования оптимальных режимов обжата заготовки при изменении ее ширины в процессе затвердевания.

Исходными данными являются геометрические константы, постоянные параметры системы охлаждения, начальные значения динамических параметров, химический состав стали, на основании которого определяются теплофизические константы. Порядок основных расчетных процедур представляет следующую последовательность:

- расчет теплофизических коэффициентов
- расчет поля температур;
- расчет поля твердой фазы;
- расчет параметров твердой корки;
- расчет параметров усадки;
- расчет параметров мягкого обжата.

При этом можно выделить группы данных, определяющих различные элементы математической модели:

- геометрия – сюда входят такие элементы: размеры заготовки, шаги сетки, координаты сетки.
- динамика – сюда входят такие элементы: скорость вытягивания заготовки, перемещение заготовки, шаг по времени, текущее значение времени;
- теплофизика – сюда входят такие элементы: теплофизические характеристики металла, эффективные значения теплофизических коэффициентов, поля температуры и доли твердой фазы.

Обжатие выполняется в управляемых гидроцилиндрами в приводных роликовых секциях в ЗВО. Для этого во вторичной зоне охлаждения устанавливается роликовые секции мягкого обжата. Кинематическая схема роликовой секции мягкого обжата представлена на рис. 2.

Роликовая секция зоны мягкого обжата состоит из тех же конструктивных элементов, что и обычная роликовая секция: рамы подвижной с роликами, рамы стационарной с роликами, устройства прижимного. Рама подвижная перемещается относительно рамы стационарной по четырем колоннам с помощью устройства прижимного, состоящего из четырех гидроцилиндров прижима ГЦ1-ГЦ4, расположенных на колонах. Шток гидроцилиндра прикреплен к раме подвижной, корпус цилиндра зафиксирован относительно колонны, закрепленной к стационарной раме. Шток каждого гидроцилиндра прижима связан с датчиком линейных перемещений BS1- BS4.

Отличия между секциями в том, что обычная роликовая секция имеет возможность подать одинаковое давления на всех четырех цилиндрах прижатия, а секция мягкого обжата имеет возможность настраивать на верхней (ГЦ1-ГЦ2) и нижней паре (ГЦ3-ГЦ4) цилиндров индивидуальное значение давления в цилиндрах, с целью чего рамы роликовой секции мягкого обжата делятся на две половины.

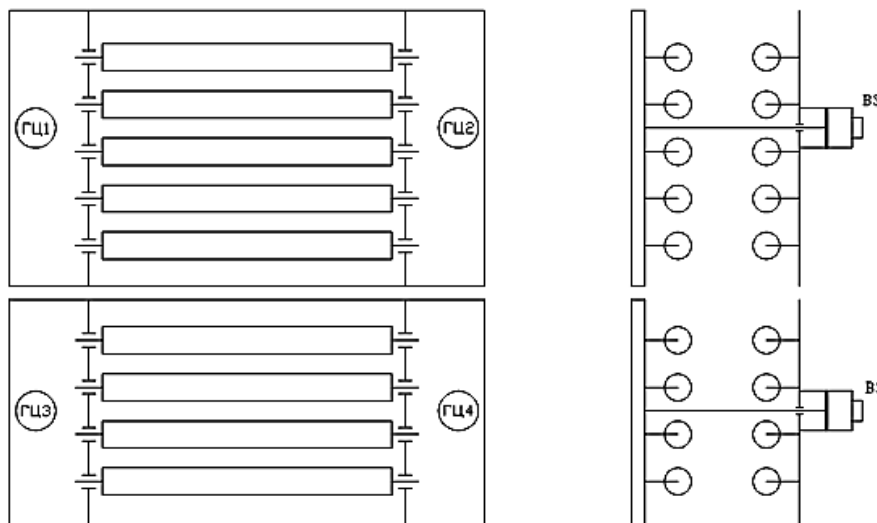


Рис. 2. Кинематическая схема роликовой секции мягкого обжатия

Мягкое обжатие необходимо осуществлять в секциях, где распределение жидкой и твердой фазы находится в соотношении 0,7–0,3 (на основании информации, полученной из математической модели мягкого обжатия), а последующие роликовые секции должны работать в режиме поддержания давления в гидроцилиндрах прижима, по положению штоков которых возможно определить фактический геометрический размер сляба. На основании этой информации также формируется задание на раствор тянущих роликов.

Разработка управляющих алгоритмов верхнего и базового уровней управления, а также настроек позиционирования гидроприжимного устройства должна осуществляться с использованием математической модели мягкого обжатия.

В расчетных точках, которые были определены в расчете теплофизических параметров, выполняется обжатие заготовки. Для этого осуществляется вычисление смещения гидроцилиндра для выполнения обжатия. Взаимодействие приложения мягкого обжатия с системой автоматизации МНЛЗ осуществляется через базу данных.

Управление мягким обжатием заключается в автоматическом регулировании толщины и конусности непрерывнолитой заготовки (рис. 3).

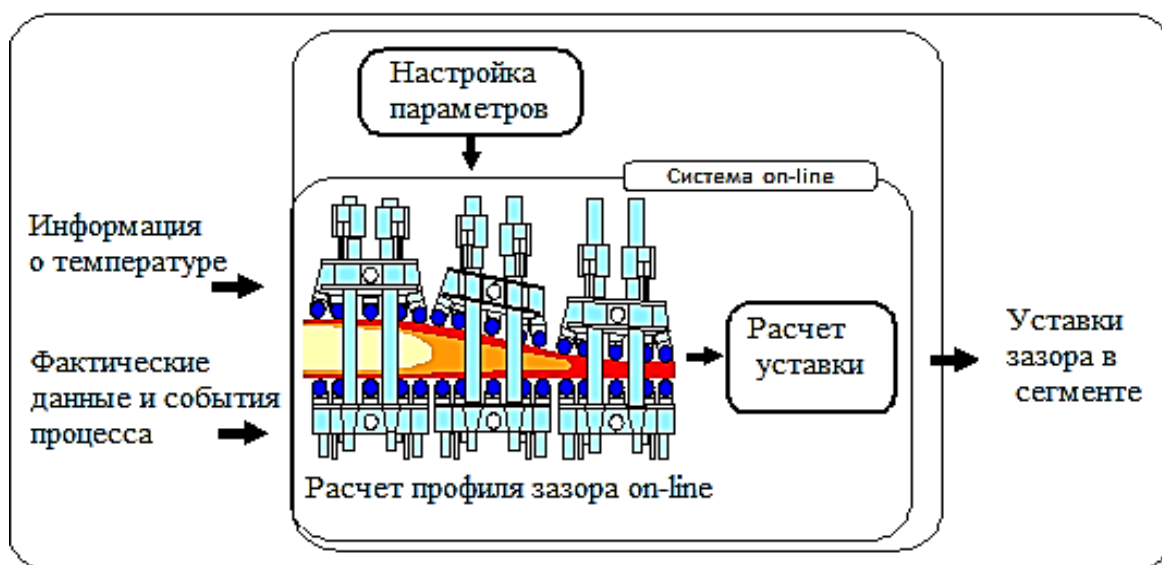


Рис. 3. Регулировка зазора on-line

Система настройки фактического зазора АСУ поддерживает разработку и обслуживание данных фактического зазора со средой моделирования процесса охлаждения слитка.

Система управления циклически рассчитывает в режиме on-line задания на зазоры роликов для всех секций, используя предварительно определенную настройку зазора, скорость разливки и информацию о температуре ручья по термодинамической модели ручья (рис. 4).

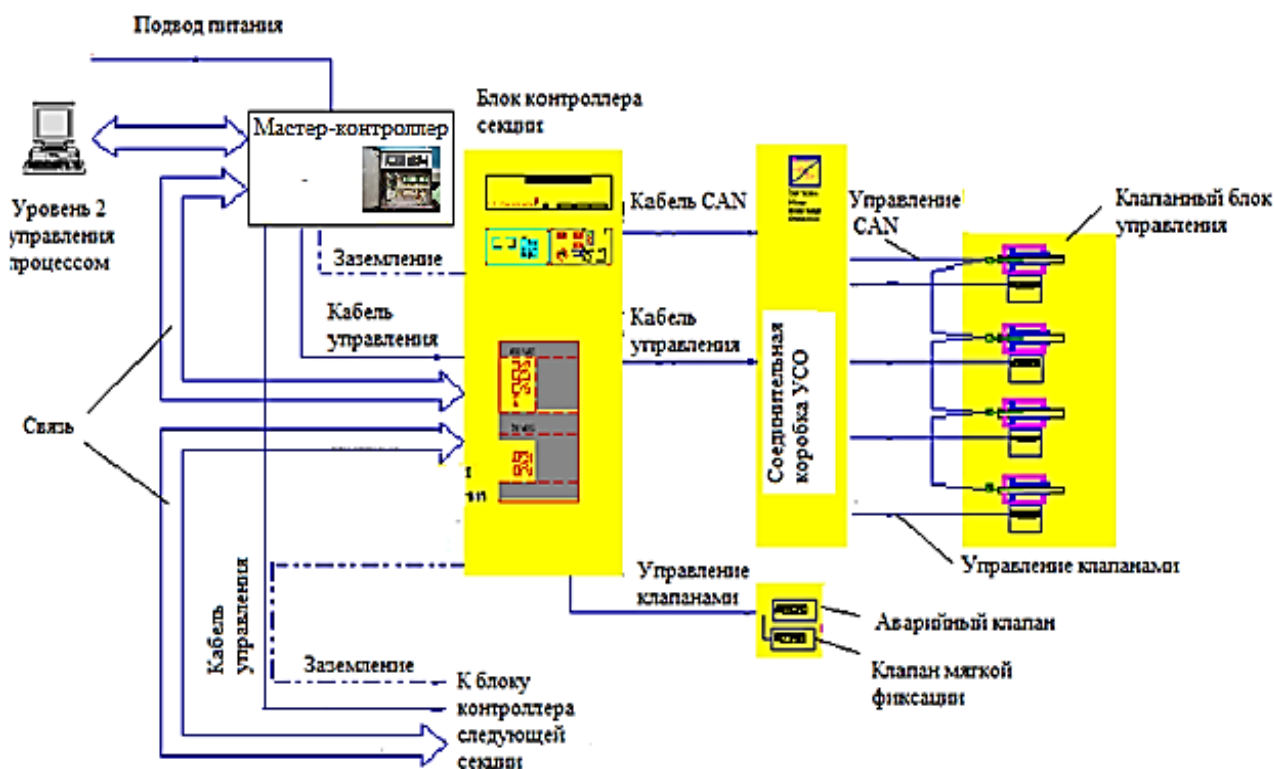


Рис. 4. Структурная схема автоматизированной системы управления секциями роликов мягкого обжатия

Она может быть настроена так, чтобы отвечать особенностям разных марок стали путем установления разных настроек зазора, которые сгруппированы в:

- статическое управление зазором (настройка независимого зазора с фиксированной скоростью по всей машине);
- управление мягким обжатием (уменьшение толщины заготовки при текущем диапазоне затвердевания).

Сервер АСУ содержит систему расчета уставки зазора и отображения параметров процесса в режиме on-line. Он рассчитывает новые уставки зазора и отвечает за передачу данных. Фактическая задача зазора роликов определяет режим работы: статический режим; динамический режим.

В статическом режиме конусность задана заранее, и не зависит от параметров процесса. Динамический режим используется для мягкого сжатия. В этих двух режимах можно настроить любой конус.

Фактический набор параметров on-line представлен в графическом интерфейсе. Передача данных осуществляется к Мастер-контроллеру и от него, а также от динамической модели охлаждения к серверу АСУ.

Мастер-контроллер представляет собой блок связи между ПК АСУ и локальными блоками контроллера секций мягкого обжатия. Состояние связи с ПК АСУ и подключенными блоками контроллера Секций отображается на экране Мастер-контроллера. Регулировка

секций с гидроприводом для быстрого изменения зазора путем динамического мягкого обжатия осуществляется блоком контроллера секции. Сетевой интерфейс осуществляется с помощью полевой шины CANbus.

Алгоритм управления роликовой секцией мягкого обжатия заключается в следующем. Для установки положения роликовой секции каждый цилиндр оснащен соленоидным клапаном. Скорость перемещения ограничивается мембраной до приблизительно 1 мм/с. У соленоидного клапана есть три положения: положение а - нижняя камера увеличивается, при этом зазор уменьшается; положение среднее - давление ограничено, нет движения; положение б - верхняя камера увеличивается, при этом зазор увеличивается.

Фактические величины зазора рассчитываются на основании значений положения от датчиков зазора через каждые 10 мс. Эти фактические значения сравниваются с уставками. Если отклонение выходит за внешние границы диапазона, начинается повторное позиционирование. Соленоидные клапаны позиционирующих цилиндров получают команды перейти либо в верхнее, либо в нижнее положение. Повторное позиционирование останавливается по достижении внутренних границ. Для каждой оси позиционирования осуществляется индивидуальное управление. Контроль положения активен только в автоматическом режиме и в локальном режиме управления.

Также реализован алгоритм синхронизации движения секции. Поскольку алгоритм управления работает индивидуально для каждой оси, необходимо убедиться, что между четырьмя осями не возникло асимметрии. Все фактические значения зазора сравниваются между собой, и повторное позиционирование останавливается для тех осей, на которых могут сложиться проблемы асимметрии. После симметрирования сегмента снова автоматически включается повторное позиционирование. Контроль симметрии активен только в автоматическом режиме.

## ВЫВОДЫ

Предложенная модель управления системой мягкого обжатия позволяет точно определить место приложения усилия обжатия и конусность ручья при формировании слитка, что повысит качество выходного профиля. Модель позволяет с высокой точностью определить параметры зоны мягкого обжатия такие как: положение и длина зоны, учитывая химический состав слитка. В результате улучшается качество центральной части изготавливаемого сляба.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юровский Н. А. Расчетный анализ влияния параметров непрерывной разливки на порообразование слитка / Н. А. Юровский, Л. В. Буланов // *Сталь*. – 2005. – № 9. – С. 14–16.
2. Мошкунов В. В. Эффективность мягкого обжатия слябовой непрерывно-литой заготовки / В. В. Мошкунов, А. М. Столяров // *Теория и технология металлургического производства*. - ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова». – 2012. – № 12. – С. 78–82.
3. Самойлович Ю. А. Влияние мягкого обжатия на степень осевой химической неоднородности при производстве непрерывнолитых заготовок / Ю. А. Самойлович, В. К. Тимошпольский // *Литье и металлургия*. - Белорусский национальный технический университет. – 2008. – Выпуск 3(47). – С. 99–105.
4. Математическая модель и расчет параметров мягкого обжатия непрерывнолитых заготовок / Л. В. Буланов, Н. А. Юровский, Т. Г. Химич и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2003. – № 8. – С. 124–130.
5. Математическое моделирование процесса мягкого обжатия слябов при непрерывной разливке трубной стали / В. В. Мошкунов, А. М. Столяров, А. С. Казаков и др. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета*. - 2013. - № 2. - С. 69–72.
6. Журавлев В. А. Теплофизика формирования непрерывного слитка / В. А. Журавлёв, Е. М. Китаев. – М. : *Металлургия*, 1974. – 215 с.