



Оценка параметров работы двухвалковой МНЛЗ на основе анализа процесса теплопередачи

Целью исследования является создание методики для оценки параметров работы двухвалковой МНЛЗ на основе анализа процесса теплопередачи. Предметом исследования являются тепловые процессы в двухвалковой МНЛЗ. Исследование проведено при помощи метода теплотехнического анализа. Получена методика, позволяющая оценить величину затвердевшей доли поперечного сечения полосы в момент выхода из области контакта с валками. Созданная методика необходима для предпроектной проработки двухвалковых МНЛЗ и управления температурно-скоростным режимом таких агрегатов. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: двухвалковая МНЛЗ, полоса, теплопередача, теплотехнический анализ, температурно - скоростной режим

The aim of the study is to provide a method for estimating the parameters of a twin roll caster based on the analysis of heat transfer process. The subject of the study are the thermal processes in the two-roll casters. The study was conducted using the method of heat engineering analysis. Received technique allowing to estimate the proportion of the cross-sectional solidified strip as it leaves the area of contact of the rollers. A technique is needed for pre-design two-roll casters and control of temperature- speed operation of such units.

Keywords: twin roll caster, strip, heat transfer, Thermal analysis, temperature- speed mode

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Известно, что приближение размера заготовок к конечному размеру проката позволяет в значительной мере экономить энергоресурсы на дальнейшую прокатку заготовок [1]. Кроме того появляется возможность повышения однородности заготовок за счет увеличения доли поперечного сечения, представленного зоной равноосных кристаллов, и снижения степени развития ликвационных явлений [2]. Так, в последнее время значительное развитие в мировой практике получила технология разлива стали в лист (полосу) на двухвалковых МНЛЗ. Освоение такой технологии в отечественной практике является актуальной задачей, решение которой позволит значительно поднять уровень конкурентоспособности украинской металлопродукции [1, 3].

Анализ публикаций по теме исследования

Конструктивный принцип литья полосы в двухвалковом кристаллизаторе заключается в том, что два валка с водоохлаждаемыми медными рубашками расположены горизонтально на некотором расстоянии один от другого. Зазор между ними определяет толщину отливаемой полосы. Ванна жидкого металла расположена между валками и торцевыми уплотнениями. Свежие порции металла поступают через погружной сталеразливочный стакан. При вращении валков навстречу друг другу жидкий металл втягивается в зазор между ними и кристаллизуется на медной водоохлаждаемой поверхности, как в обычном кристаллизаторе МНЛЗ, образуя полосу, которая вы-

тягивается вниз и быстро затвердевает.

Несмотря на значительное преимущество литья стали в двухвалковый кристаллизатор в плане энергосбережения и снижения себестоимости конечного продукта, сегодня эта технология еще не получила всеобщего распространения. Этот факт объясняется сложностями конструкционного характера при изготовлении важнейших узлов двухвалковых МНЛЗ (например, выбор оптимального диаметра валков, выбор материала и технологии изготовления боковых преград и т.д.). Кроме того, зачастую качество продукции, полученной на двухвалковых МНЛЗ, уступает качеству полосы и листа, полученных традиционным способом [1, 3]. Так, часто приходится иметь дело с образованием трещин, вызванных термическими напряжениями. Анализ конструкций установок, рассчитанных на промышленное использование, свидетельствует о том, что пока нет единого мнения об оптимальном диаметре валков. Поэтому в мировой практике продолжают интенсивные исследования в данной области, нацеленные на решение названных проблем.

В связи с этим чрезвычайно важной задачей представляется создание методик для определения основных технологических и конструктивных параметров разлива стали на двухвалковых МНЛЗ.

Постановка проблемы исследования

Целью данной работы является создание методики, позволяющей на основании анализа теплового баланса двухвалковой МНЛЗ, учитывающего конструктивные и технологические параметры, оцени-

вать толщину затвердевшей корки металла в момент выхода полосы из двухвалкового кристаллизатора. Наличие такой методики необходимо на стадии предпроектной проработки двухвалковых МНЛЗ, также она может быть использована при создании алгоритмов управления параметрами температурно-скоростного режима действующих агрегатов.

Изложение материала и результаты

Система первичного охлаждения двухвалковых МНЛЗ, как правило, выполнена следующим образом: на стальные обечайки валков с небольшим зазором закреплена наружная медная стенка. Охлаждающая вода проходит по щелевому каналу между медной наружной стенкой и стальной обечайкой (рис. 1).

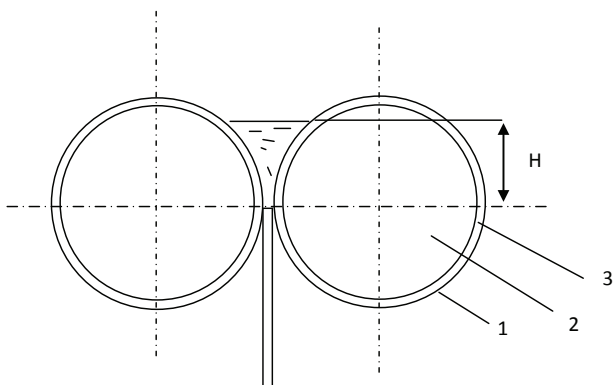


Рис. 1. Схема формирования полосы на двухвалковой МНЛЗ: 1 – наружная медная стенка; 2 – стальная обечайка; 3 – щелевой зазор для прокачивания воды; Н – высота налива металла

Общая тепловая мощность, которую необходимо отвести в рамках первичного охлаждения двухвалковой МНЛЗ для полного затвердевания полосы и охлаждения металла на заданную величину

$$Q = \frac{m}{3,6} \cdot (q_{кр} + c \cdot \Delta t), \quad (1)$$

где m – производительность МНЛЗ, т/ч; $q_{кр}$ – теплота затвердевания стали, Дж/кг; Δt – заданное понижение среднемассовой температуры затвердевшего металла относительно температуры солидуса, °С; c – средняя теплоемкость затвердевшего металла для значения среднемассовой температуры, усредненно в диапазоне от солидуса до среднемассовой температуры выдачи из МНЛЗ, Дж/(кг×°С).

В практике эксплуатации двухвалковых МНЛЗ для существенного повышения их производительности разливка ведется на повышенных скоростях и в момент выхода расчетного сечения из контакта с валками полное затвердевание расчетного сечения не достигается. В этом случае зависимость (1) записывается следующим образом

$$Q = \frac{m}{3,6} \cdot \phi \cdot (q_{кр} + c \cdot \Delta t),$$

где ϕ – затвердевшая доля расчетного поперечного сечения полосы.

Средняя плотность теплового потока (Вт/м²), отводимого от поверхностей, образующих полость кристаллизации, определяется как

$$q = \frac{Q}{F_{общ}},$$

где $F_{общ}$ – общая поверхность охлаждаемых поверхностей, образующих полость кристаллизации, м².

В виду сложности изучаемых процессов вопрос выбора значения величины $F_{общ}$ является достаточно дискуссионным. В данной работе автором предложено в качестве $F_{общ}$ использовать сумму поверхностей обоих валков, контактирующих с металлом в каждый момент времени. Таким образом, площадь поверхности охлаждения зависит от диаметра валка (D), ширины полосы (b) и высоты налива металла (H)

$$F = 2 \cdot b \cdot \frac{D}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{2 \cdot H}{D}\right).$$

Для получения качественного листа на предложенных МНЛЗ и их безаварийной работы необходимо подведение такого количества охладителя, которое обеспечило бы отвод заданного количества тепла при отсутствии выпадения накипи на наружной поверхности стальной обечайки и внутренней поверхности медной стенки.

Требуемый расход воды для отвода заданного количества теплоты определяется как

$$G = \frac{Q}{c_e \cdot \Delta t_e},$$

где Δt_e – повышение температуры охлаждающей воды в МНЛЗ, °С; c_e – теплоемкость охлаждающей воды, Дж/(кг×°С).

Выбор величины Δt_e определяется с учетом двух противоречивых тенденций. С одной стороны, чем больше эта величина, тем меньше требуемый расход воды и соответственно затраты на ее перекачку. С другой стороны, значительный рост Δt_e может привести к выпадению накипи. Для классических МНЛЗ величина Δt_e в кристаллизаторе составляет, как правило, 5-10 °С. Решение задачи выбора величины Δt_e в каждом конкретном случае должно проводиться на основе технико-экономического анализа с учетом схемы водоснабжения, жесткости воды и т.д.

На пути распространения теплоты от металла к охлаждающей воде имеются следующие термические сопротивления: конвективной теплоотдаче от жидкого металла к твердой корке (R_1), теплопроводности через твердую стальную корку (R_2), сложной теплопередаче от наружной поверхности стальной корки к наружной поверхности медной стенки (R_3), теплопроводности через медную стенку (R_4), конвекции от внутренней поверхности медной стенки к охлаждающей воде (R_5). Если проследить путь произвольного расчетного поперечного сечения полосы, начав его от зеркала металла и до выхода из области контакта с валками, то значения сопротивлений R_2, R_3 существенно меняются. Поэтому для расчета теплового баланса двухвалковой МНЛЗ приняты усредненные значения этих величин. Тогда имеем следующий набор зависимостей для определения всех характерных термических сопротивлений

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_m}; \quad \bar{R}_2 = \frac{h \cdot \phi}{2 \cdot \lambda_{cm}}; \quad \bar{R}_3 = \frac{\delta_{эф}}{\lambda_3}; \quad R_4 = \frac{\delta_m}{\lambda_m}; \quad R_5 = \frac{1}{\alpha_e}$$

где h – толщина полосы, м; λ_{cm} , λ_m – коэффициенты теплопроводности стальной корки при ее средней температуре и медной стенки, Вт/(м·К); $\delta_{эф}$ – среднее значение эффективной толщины газового зазора, интегрально характеризующей теплопередачу от наружной поверхности стальной корки к медной стенке, м; α_m , α_e – коэффициент теплоотдачи от жидкого металла к стальной корке и от внутренней поверхности медной стенки к охлаждающей воде, Вт/(м²·К).

Если зафиксировать температуру источника на уровне температуры солидуса, что характерно для внутренней поверхности стальной корки, тогда первое сопротивление должно быть исключено из рассмотрения и плотность теплового потока, передаваемого через систему первичного охлаждения, определяется как

$$q = \frac{t_c - t_e}{\bar{R}_2 + \bar{R}_3 + R_4 + R_5},$$

где t_c – температура солидус для разливаемой марки стали, °С; t_e – средняя температура охлаждающей воды в системе первичного охлаждения.

Таким образом, уравнение теплопередачи в двухвалковой МНЛЗ можно записать следующим образом

$$Q = \frac{m}{3,6} \cdot \phi \cdot (q_{кр} + c \cdot \Delta t) = \frac{t_c - t_e}{\frac{h \cdot \phi}{2 \cdot \lambda_{cm}} + \frac{\delta_{эф}}{\lambda_3} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_e}} \cdot (2)$$

Производительность МНЛЗ зависит от скорости разливки и геометрических параметров полосы следующим образом

$$m = (60 \cdot b \cdot h \cdot v \cdot \rho) / 1000,$$

где v – скорость разливки полосы, м/мин; h – толщина полосы, м; ρ – плотность металла полосы при температуре выдачи готового продукта, кг/м³.

Разрешая уравнение (2) относительно затвердевшей доли расчетного поперечного сечения, получаем следующее выражение

$$\frac{h}{2 \cdot \lambda_{cm}} \cdot \phi^2 + B \cdot \phi - A = 0$$

где A , B – вспомогательные расчетные величины.

$$A = \frac{F_{общ} \cdot (t_c - t_{общ})}{\frac{m}{3,6} \cdot (q_{кр} + c \cdot \Delta t)}, \quad B = \bar{R}_3 + R_4 + R_5.$$

Выбирая положительный корень уравнения (2), получим

$$\phi = \left(-B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot \frac{h}{2 \cdot \lambda_{cm}}} \right) \cdot (h / \lambda_{cm})^{-1}. \quad (3)$$

Таким образом, получено выражение (3), позволяющее в зависимости от конструктивных параметров МНЛЗ (диаметра вала) и технологических параметров (высота налива металла и скорость разлики) определять затвердевшую долю расчетного сечения.

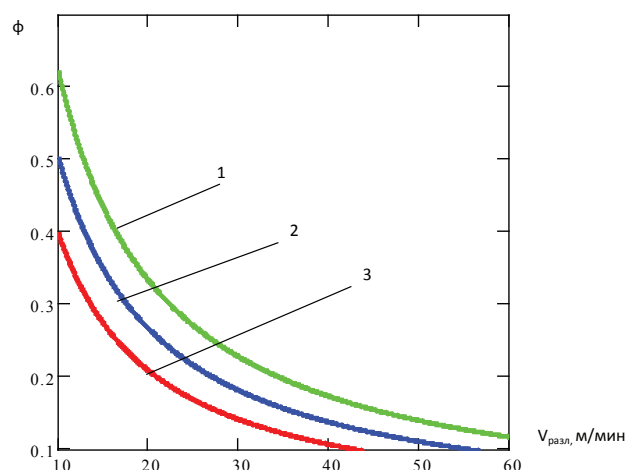


Рис. 2. Зависимость затвердевшей доли твердой фазы от скорости разлики для толщины листа 10 мм: 1 – для высоты налива 0,6 м; 2 – 0,5 м; 3 – 0,4 м

Пример использования созданной методики для следующего набора исходных данных представлен на рис. 2:

- диаметр вала МНЛЗ и толщина разливаемой полосы..... 1,5 м, 0,01 м;
- толщина и коэффициент теплопроводности наружной медной стенки..... 0,01 м, 360 Вт/(м·К);
- средняя эффективная толщина газового зазора и коэффициент теплопроводности газовой прослойки..... 40 мкм, 0,09 Вт/(м·К);
- теплота затвердевания стали и средняя теплоемкость твердой корки..... 260 кДж/кг, 680 Дж/(кг·К);
- заданное снижение среднemasовой температуры металла относительно солидуса..... 140 °С.

Наличие такой расчетной информации необходимо для оценки производительности предлагаемых конструкций МНЛЗ за счет определения предельных скоростей разлики в каждом конкретном случае. Под предельной скоростью разлики понимается такое значение скорости, при котором в момент выхода расчетного поперечного сечения полосы из контакта с валами достигается минимальное предельное значение доли затвердевшей фазы, определяемое характеристиками вспомогательного оборудования двухвалковой МНЛЗ.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Создана методика для оценки доли затвердевшего расчетного поперечного сечения непрерывнолитой полосы в зависимости от конструктивных параметров МНЛЗ (диаметра вала) и технологических параметров (высота налива металла и скорость разлики).

Такая методика необходима на стадии предпроектной проработки двухвалковых МНЛЗ для увязки производительности агрегата с параметрами первичного охлаждения и вторичного охлаждения.

Также на ее основании можно создавать алгоритмы управления параметрами температурно-скоростного режима действующих МНЛЗ, так как на основании определения доли расчетного сечения, затверде-

шей в рамках первичного охлаждения определяются требуемые расходы воды на охлаждение МНЛЗ после выхода из валков.

Библиографический список

1. Современные технологии получения тонкого листа и полосы методами непрерывного литья / А.Н. Смирнов // Сб. тр. Междунар. научно-практич. конф. «50 лет непрерывной разливки стали в Украине» 3-4 ноября 2010. - Донецк: ДонНТУ, 2010. – С. 60-70.
2. Структура та властивості сплавів, швидко охолоджених з рідкого стану / Л.Н. Ларіков, С.Є. Кон-

дратюк, О.М. Стоянова // Металознавство та обробка металів. – 1996. - № 1-2. – С. 30-38.

3. Теплотехника ресурсоэнергосберегающей разливки стали / А.Б. Бирюков, В.В. Кравцов, Н.С. Масс. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 206 с.

Поступила 27.05.2013

УДК 621.3.036:661.666.2

Яковлева И.Г. /д.т.н./, Назаренко И.А.
ЗГИА

Наука

Влияние внешнего подогрева пека на параметры работы системы циркуляционного нагрева

Исследовано влияние температуры пека на выходе из внешнего подогревателя на время нагрева и расход циркулирующего высокотемпературного пека. На основе разработанной комплексной математической модели установлен ряд важных закономерностей влияния данной температуры на время нагрева и на расход циркулирующего пека. Выявлено, что повышение температуры пека выше 200 °С нецелесообразно, поскольку не приведет к значительному сокращению указанных технологических параметров. Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: высокотемпературный пек, циркуляционный нагрев, внешний подогреватель, комплексная математическая модель

The effect of temperature on the output of the pitch external heater for heating time and the consumption of the circulating high pitch . On the basis of the developed complex mathematical model established a number of important patterns of influence of the temperature on the heating and consumption of the circulating pitch . Found that increasing the temperature of pitch above 200 ° C are not recommended as not lead to a significant reduction of these process parameters .

Keywords: high- pitch , circulating heating , external heater , a comprehensive mathematical model

Введение

Одной из важнейших задач, поставленных наукой и практикой, является проблема повышения уровня конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынках. Решение этих вопросов возможно за счет повышения ее качества и снижения себестоимости на основе повышения уровня энергоресурсосбережения.

Системы хранения и нагрева пека являются весомой составляющей в технологии производства графитовых электродов. Пек представляет собой сложную гетерогенную систему высоко конденсированных карбо- и гетероциклических соединений и продуктов их уплотнения [1]. Пек используют в качестве связующего вещества при производстве графитовых электродов, а также при получении анодной массы для электролизеров при производстве алюминия [2]. Для получения продукции высокого качества используют высокотем-

пературный пек, для однородности которого, по технологии, необходимо осуществлять равномерный нагрев при температуре не менее 185 °С. Не соблюдение температурного режима приведет к резкому ухудшению качества готовой продукции.

Система подогрева пека представляет собой сложный комплекс трубопроводов, оборудования и сооружений, потребляющих значительную часть энергетических ресурсов собственных нужд предприятия в процессе эксплуатации. Важным фактором, влияющим на эксплуатационные свойства электродов, является качество пека, которое зависит не только от технологии его получения, но и от режимов нагрева [3].

Технология циркуляционного нагрева является энергозатратной. Одним из способов снижения затрат энергии на нагрев и перекачку является регулирование температуры пека на выходе из внешнего подогревателя. Исследованию влияния данной темпера-