

вероятности протекания реакций выщелачивания никеля из марганецсодержащего материала. Очевидно, что протекание реакций с комплексобразованием изменяет механизм растворения твердых оксидов в водных хлоридных растворах и может способствовать более глубокому извлечению никеля из полиметаллического минерального сырья.

Преимуществом использования в качестве растворителя хлорида железа (II) при выщелачивании никеля и марганца из полиметаллического марганецсодержащего сырья является получение высоких показателей извлечения не только никеля (до 99,1 %), но и марганца (до 90,2 %).

Выводы. Использование при комплексном обогащении марганцевой руды хлорида кальция в качестве растворителя по данным термодинамических расчетов мало эффективно для рассматриваемых оксидов. Равновесие реакции растворения оксида марганца хлоридом железа (II) сдвинуто вправо, это означает, что реакция даже при низких температурах (300 К) протекает достаточно полно. Образование гидроксо- и хлорокомплексов в хлоридных растворах наиболее вероятно при растворении марганца, кобальта и меди, при растворении железа их образование менее вероятно, а при растворении никеля образование этих комплексов маловероятно. Термодинамически высоковероятным является процесс совместного растворения в хлоридных водных растворах оксидов никеля и марганца с образованием хлорокомплексов марганца. Возможно образование в хлоридных водных растворах комплексных солей типа $Ni[MnCl_3]_2$ с донорно-акцепторными химическими свя-

зями, чем можно объяснить повышенное растворение оксида никеля при выщелачивании комплексного марганецсодержащего сырья по сравнению с аналогичным процессом для чистого оксида никеля. Наиболее эффективным растворителем для совместного выщелачивания оксидов марганца и никеля является раствор хлорида железа (II).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. – М.: Металлургия, 1988. – 783 с.
2. Шамовский Л.Н. – В кн.: Исследования по прикладной химии. – М.: Изд. АН СССР, 1955. С. 39 – 49.
3. Рожихина И.Д. // Металлы Евразии. 2006. № 1. С. 34 – 36.
4. Прошунин И.Е. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2008. № 8. С. 21 – 23.
5. Рожихина И.Д. // Сталь. 2008. № 8. С. 63, 64.
6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочник. Т. 1. Кн. 2 / Под ред. В.П. Глушко, Л.В. Гурвича и др. – М.: Наука, 1978. – 310 с.; Т. 3. Кн. 2. 1981. – 395 с.
7. Рузинов Л.П., Гуляницкий Б.С. Равновесные превращения металлургических реакций. – М.: Металлургия, 1975. – 416 с.
8. Термические константы веществ: Справочник. / Под ред. В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. – М.: Наука, 1973. Вып.6. – 350 с; 1974. Вып. 7. – 341 с.
9. Киргинцев А.Н., Трушников Л.Н., Лаврентьева В.Г. Растворимость неорганических веществ в воде: Справочник. – Л.: Химия, 1972. – 100 с.

© 2012 г. О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина,
О.Ю. Кичигина, Ю.В. Горюшкина,
А.П. Родзевич
Поступила 2 мая 2012 г.

УДК 669.18.046

В.В. Стулов

Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения РАН (г. Комсомольск-на-Амуре)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

В настоящей работе сделана попытка выполнить конструктивный расчет кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с учетом имеющихся экспериментальных данных и определить температуры стенок, теплоносителя и охлаждающей среды, расход охлаждающей среды, подобрать новый материал для стенок кристаллизатора.

На рисунке приведена схема охлаждения стенки кристаллизатора. Технологический процесс получения заготовок в кристаллизаторе с новой системой охлаждения осуществляется следующим образом. После заливки в кристаллизатор жидкого металла происходит его охлаждение и кристаллизация. Выделяющееся

в процессе кристаллизации металла тепло передается стенкам кристаллизатора, нагревает теплоноситель в каналах стенок, который кипит и испаряется. Образующийся при кипении теплоносителя пар поступает в зону охлаждения, где находится конденсатор пара. После достижения стенками и паром заданных температур, контролируемых по показаниям термомпар, включается подача охлаждающей среды в пространство между наружной стенкой конденсатора и кожухом. В результате охлаждения конденсатора выделяется тепло конденсации пара, которое отводится охлаждающей средой. Температура охлаждающей среды на входе и выходе из кожуха контролируется по показаниям термомпар.

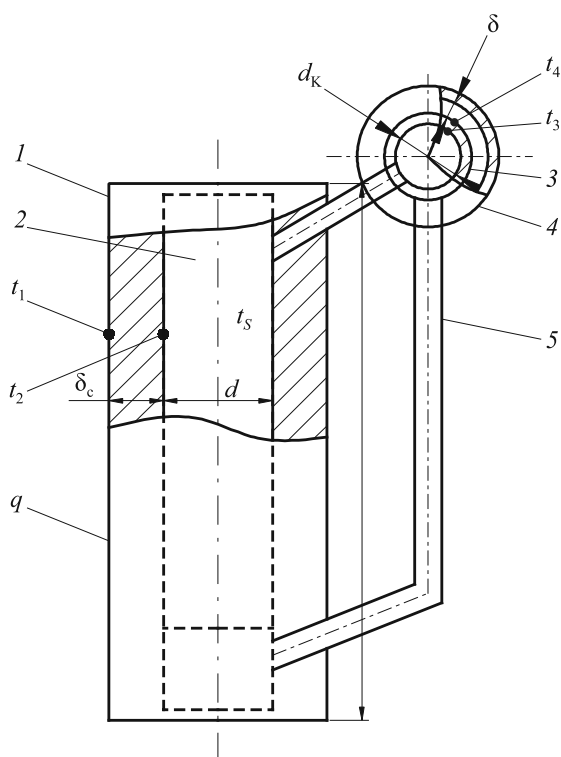


Схема охлаждения стенки кристаллизатора:

1 – стенка кристаллизатора; 2 – охлаждаемый канал; 3 – конденсатор; 4 – кожух; 5 – конденсаторопровод

Образующийся в конденсаторе в процессе охлаждения пара конденсат по конденсаторопроводу возвращается в охлаждаемые каналы стенок кристаллизатора.

Цель настоящей работы – расчет охлаждения широкой стенки кристаллизатора, выполненной в виде тепловой трубы, при разливке стали с использованием результатов физического моделирования.

В настоящей работе используются обозначения: q – плотность теплового потока в широкую стенку кристаллизатора, Вт/м²; Q – тепловой поток, отводимый охлаждающей средой с наружной поверхности конденсатора, Вт; λ_c и $\lambda_{кд}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки кристаллизатора и стенки конденсатора, Вт/(м·К); α_k и $\alpha_{кд}$ – коэффициент теплоотдачи при кипении и конденсации теплоносителя в каналах стенок кристаллизатора, Вт/(м²·К); $\alpha_{кв}$ – коэффициент теплоотдачи при конвективном течении охлаждающей среды в зазоре между стенкой конденсатора и кожуха, Вт/(м²·К); c_b – удельная теплоемкость охлаждающей среды, Дж/(кг·К); \dot{m}_b – массовый секундный расход охлаждающей среды, кг/с; δ_c и $\delta_{кд}$ – толщина стенки кристаллизатора и конденсатора, м; $F_{кд}$ – площадь неробренной поверхности конденсатора, м²; t_1 и t_2 – температура рабочей поверхности стенки кристаллизатора и поверхности охлаждаемого канала; t_s – температура насыщения теплоносителя в каналах стенки; t_3 и t_4 – температура внутренней и наружной поверхности стенки конденсатора; \bar{t}_b – средняя температура охлаждающей среды в зазоре между стенкой конденсатора

и кожуха; M – масштаб моделирования. Индексы «м» и «н» соответствуют параметрам модели и природы.

Исходные данные.

Кристаллизатор размерами $a \times b \times H = 0,42 \times 0,14 \times 0,8$ м. Площадь F поверхности теплообмена одной широкой стенки составляет 0,294 м², диаметр охлаждаемого канала $d_n = 0,06$ м. Средняя плотность теплового потока (тепловая нагрузка) – 1,1 МВт/м². Средний тепловой поток, отводимый одной широкой стенкой, составляет 323 кВт. Число каналов в стенке – 7 шт, площадь поперечного сечения канала – 0,00283 м².

Стенка кристаллизатора выполнена из стали 40 ХН [1]: при $t = 230$ °С коэффициент теплопроводности λ находится в пределах 41,0 – 43,5 Вт/(м·К); толщина δ_c составляет 0,01 м; стенка конденсатора выполнена из стали марки 20 [1], $\lambda_{кд} = 46$ Вт/(м·К).

Параметры теплоносителей приведены в работе [1].

Диаметр барабана конденсатора $D_{кд}$ составляет 0,18 м; толщина $\delta_{кд}$ стенки 0,01 м; длина $L_{кд} = 1,0$ м; площадь $F_{кд}$ неробренной поверхности составляет 0,396 м²; толщина δ зазора прохода воды – 0,005 м; площадь F_b кольцевой поверхности прохода воды в зазоре – $28,26 \cdot 10^{-4}$ м².

При тепловом конструктивном расчете кристаллизатора МНЛЗ без указания поверхностей теплообмена используются основные уравнения теплообмена

$$q = \lambda_c (t_1 - t_2) / \delta_c; \quad (1)$$

$$q = \alpha_k (t_2 - t_s); \quad (2)$$

$$q = \alpha_{кд} (t_s - t_3); \quad (3)$$

$$q = \lambda_{кд} (t_3 - t_4) / \delta_{кд}; \quad (4)$$

$$Q = \alpha_{кв} (t_4 - \bar{t}_b) F_{кд}; \quad (5)$$

$$Q = c_b \dot{m}_b (t_{b2} - t_{b1}). \quad (6)$$

Уравнение, описывающее теплообмен при конвективном течении охлаждающей среды в кожухе конденсатора, взято из работы [1], коэффициенты теплоотдачи при кипении и конденсации теплоносителя определяются по формулам из работ [1, 2].

Рассмотрим охлаждение одной широкой стенки кристаллизатора. При $q = 1,1$ МВт/м² и $F = 0,294$ м² тепловой поток Q_1 в стенку от разливаемой стали составляет 323 кВт. Средняя плотность теплового потока на поверхности канала при площади поверхности каналов 0,396 м² составляет 0,816 МВт/м².

При $\Delta t_b = 50$ °С, $t_{b2} = 70$ °С получаем $\dot{m}_b = 3,91$ кг/с. Значение $\alpha_{кв} = 8574$ Вт/(м²·К) обеспечивается при скорости воды $\omega_b = 1,39$ м/с. Далее при $\alpha_{кд} = 90$ кВт/(м²·К), $\alpha_{кн} = 33,1$ кВт/(м²·К) определяем значения температур: $t_3 = 335$ °С, $t_s = 345$ °С, $t_2 = 370$ °С, $t_1 = 569$ °С. На модели значение $\alpha_{км}$ составляет 11,74 кВт/(м²·К).

В работе [1] приводится соотношение масштаба тепловой мощности, передаваемой тепловой трубой: $M_Q = Q_n/Q_m = m_p m_l^{3,5}$, здесь $m_p = \rho_n/\rho_m$ – масштаб плотностей теплоносителей; $m_l = R_n/R_m$ – масштаб геометрических размеров (радиусов труб). В приведенном соотношении M_Q не учтен масштаб M_α коэффициентов теплоотдачи при кипении теплоносителей в каналах стенок. После подстановки в соотношение M_Q исходных данных ($\rho_n = 1280 \text{ кг/м}^3$; $\rho_m = 887 \text{ кг/м}^3$; $R_n = 0,03 \text{ м}$; $R_m = 0,02 \text{ м}$; $Q_m = 646 \text{ Вт}$) получаем, что для натуральных условий $Q_n \geq 40,89 \text{ кВт}$. Действительное значение передаваемого теплового потока больше 40,89 кВт, что объясняется ошибкой в задании на модели теплового потока Q_m .

Выводы. Выполненные расчеты охлаждения новой конструкции стенок кристаллизатора с использованием тепловых труб, согласованные с результатами

физического моделирования охлаждения, позволяют сделать заключение о возможности их использования для высокоэффективного охлаждения кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок. Изменение геометрических размеров элементов конструкции (увеличение диаметра и длины конденсатора пара), а также параметров охлаждающей среды позволяет повысить эффективность передачи тепла в устройстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аметистов Е.В., Григорьев В.А., Емцев Б.Т. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

© 2012 г. В.В. Стулов
Поступила 14 февраля 2012 г.

УДК 669.046.536.2

И.Л. Гоник, Н.А. Новицкий, А.Г. Тюпина

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ОКСИДОУГЛЕРОДНОГО БРИКЕТА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЖИГА

Применение металлизированного сырья в металлургическом производстве в значительной степени повышает производительность металлургического агрегата. В доменном производстве при степени металлизации шихты 50 – 60 % каждые 10 % металлизации обеспечивают снижение расхода кокса на 4 – 6 % и прирост производительности на 5 – 7 % [1]. Процесс металлизации представляется весьма перспективным, поскольку в рассматриваемом случае могут быть использованы традиционные шихтовые материалы, а эффективность их использования достаточно высока.

При использовании частично восстановленной шихты в сталеплавильном производстве необходима ее максимальная степень металлизации и использование чистых по вредным примесям компонентов, богатых железом. В качестве такой шихты могут быть использованы оксидоуглеродные брикеты, приготовленные из железосодержащих отходов металлургического производства. При обжиге такой шихты важна степень металлизации – отношение содержания металлического железа к общему количеству железа в шихте.

В настоящее время все большее количество предприятий черной металлургии проявляют интерес к брикетированной шихте из отходов металлургического производства. Немаловажную роль в этом сыграло появление в последние годы на российском рынке

высокотехнологичного оборудования, позволяющего получать окускованный шихтовой материал с большей эффективностью. Наиболее целесообразно совместное брикетирование железосодержащих отходов (состоящих преимущественно из оксидов железа) и восстановителя. Этот принцип использован при получении оксидоуглеродных брикетов (ОУБ). После предварительной металлизации содержание железа в таких брикетах достигает 75 – 85 %, при этом значительно сокращается время плавки при использовании металлизированного сырья [2].

Однако несмотря на проявляемый интерес к новому виду шихтовых материалов процессы, протекающие в разработанных ОУБ при их нагреве, требуют дополнительных исследований.

Были проведены исследования термодинамики процесса восстановления железа в брикете при обжиге с целью металлизации. В качестве железосодержащего компонента в оксидоуглеродных брикетах использовалась прокатная окалина ОАО «Волгоградский металлургический завод «Красный октябрь»», состоящая преимущественно из вюститита и гематита, химический состав которой следующий: 72,49 % Fe_{общ}; 56,3 % FeO; 41,0 % Fe₂O₃; 0,009 % P; 0,008 % S.

Процесс металлизации оксидоуглеродных брикетов протекает в соответствии с теорией ступенчатого вос-