

ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕТАЛУРГІЙНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Зміст

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ГРАДИЕНТНЫЙ НАГРЕВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТЫВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНО НАГРЕТОЙ ЗАГОТОВКИ НА ШТАМПЕ	69
Е.Ю. Балалаева, доцент, В.В. Кухарь, профессор, О.А. Тузенко, доцент, ГВУЗ «ПГТУ»	69
УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ В РЕЖИМЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ.....	70
В.С. Богушевский, профессор, В.Ю. Сухенко, ст. преподаватель, Б.В. Василенко, студент, НТУУ «Киевский политехнический институт»....	70
ТЕХНОЛОГИЯ ОБЖИГА ОКАТЫШЕЙ С ПОВЫШЕНИЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ	72
Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк, профессор, Е.В. Чупринов, асистент, Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, В.О. Кардаш, Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ».....	72
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ С ЗАКАТАННЫМ ВНУТРЬ ТОПЛИВОМ В СЛАБООКИСЛИТЕЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ.....	73
Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк, профессор, Е.В. Чупринов, асистент, Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, К.В. Чухан, Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ»	73
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ МЕТАЛУРГІЙНИХ МАШИН З МЕТОЮ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ	74
І.М. Задорожня, доцент, М.О. Задорожній доцент, О.О. Ребедак, аспірант, ДДМА.....	74
РОЗРОБКА ВОДНЕВОГО ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСА ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА	76
О.В. Кошельнік, доцент, НТУ «ХП»	76
НОВЫЙ МЕТОД ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК.....	77
С.Л. Макуров, профессор, Б.В. Ефременко, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ».....	77
ПРОЧНОСТНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ	78
Н.Н. Нагнибеда, студент, В.В. Кухарь, професор, ГВУЗ «ПГТУ»	78

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ И
ПРОМЫСЛОВОСТИ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА МАРКИ MnC17.....	79
А.Ф. Петров, научный сотрудник, Э.В. Приходько, профессор, Л.А. Головкин, научный сотрудник, Н.Е. Ходотова, младший научный сотрудник, Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины.....	79
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ОБЖАТЫЙ ПОЛОС НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ.....	80
А.Г. Присяжный, доцент, Н.А. Святой, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ»	80
СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС.....	81
Н.А. Святой, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ».....	81
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРЯДКА ЗАГРУЗКИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИХ ВЫСОКИХ СЛОЕВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ НАГРУЗОК ПО РАДИУСУ КОЛОШНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ	82
В.В. Семаков, ассистент, ГВУЗ «ПГТУ».....	82
ВАЖНОСТЬ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫПЛАВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ.....	85
П.С. Харлашин, профессор, С.А. Герасин, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ»	85
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ С АУСТЕНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ.....	85
Ю.Г. Чабак, старший преподаватель, ГВУЗ «ПГТУ».....	85
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ С ЗАКАТАНЫМ ВНУТРЬ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ..	87
Е.В. Чупринов, ассистент, Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк, профессор, Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, М.О. Дюба, Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ».....	87
ОФЛЮСОВАННОЕ ОКУСКОВАННОЕ СЫРЬЕ С ОСТАТОЧНЫМ УГЛЕРОДОМ – ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ	88
Е.В. Чупринов, ассистент, Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк, профессор, Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, Н.И. Кравчук, Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ».....	88

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ГРАДИЕНТНЫЙ НАГРЕВ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТЫВАНИЯ НЕРАВНОМЕРНО
НАГРЕТОЙ ЗАГОТОВКИ НА ШТАМПЕ**

*Е.Ю. Балалаева, доцент, В.В. Кухарь, профессор, О.А. Тузенко, доцент,
ГВУЗ «ПГТУ»*

Сокращение энергозатрат при градиентном нагреве достигают благодаря меньшему прогреву тех участков заготовки, которым необходимо придавать меньшую деформацию, локально перераспределяя формоизменение согласно требуемой закономерности. Выбор термомеханических режимов при реализации градиентного (неравномерного) нагрева заготовок под последующую обработку давлением является весьма сложной задачей. Такая задача существенно усложняется на этапах начального остывания заготовки тем, что необходимо учитывать исходное распределение температур в заготовке, тепловые процессы на контакте неравномерно нагретых частей заготовки с воздухом и инструментом.

Целью работы была разработка, компьютерная реализация и тестирование математической модели термодинамических процессов, происходящих при контакте и остывании неравномерно нагретой по высоте заготовки на плоском штампе перед деформированием.

Для разработки математической модели выбран метод элементарных тепловых балансов. Применительно к заготовке рассматривали одномерную модель, т.е. плотность теплового потока является функцией координаты по оси заготовки и времени. Применительно к штампу рассматривали двухмерную модель с его прогревом вглубь и в стороны. Получены рекуррентные зависимости, которые составляют основу автоматизированного расчета распределения температуры в заготовке и штампе. На базе данных зависимостей была составлена программа, позволяющая исследовать термодинамические процессы в неравномерно нагретой заготовке и штампе.

Таким образом, разработанная математическая модель изменения температурных полей в неравномерно нагретой по длине заготовке и штампе, на который она установлена, позволяет рассчитывать рациональное начальное распределение температур по длине заготовки, необходимое для проектирования специальных энергосберегающих индукционных нагревателей.

УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ В РЕЖИМЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

*В.С. Богушевский, профессор, В.Ю. Сухенко, ст. преподаватель,
Б.В. Василенко, студент, НТУУ «Киевский политехнический институт»*

В настоящее время конвертерный процесс является основным способом производства стали. На качество стали, выход годного металла, шлакообразование, стойкость футеровки влияет тепловой режим плавки. Наилучшие показатели качества стали и слитка получают обычно после достижения в конце продувки некоторой оптимальной температуры металла, которая изменяется для разных марок стали и способов ее разливки. Оптимальный перегрев металла перед выпуском относительно температуры плавления колеблется от 80 до 150 °С.

Учитывая, что газы, выходящие из конвертера, состоят приблизительно из 90 % CO и 10 % CO₂, а тепловой эффект дожигания CO составляет около 21000 кДж/кг углерода, большие резервы процесса находятся в увеличении степени дожигания CO в конвертере.

Основным регулирующим воздействием на дожигание CO является изменение расстояния сопла продувочной фурмы до уровня спокойного металла. Увеличивая расстояние, можно повысить степень дожигания CO до CO₂ в полости конвертера, но при этом одновременно увеличивается количество железа, окисляющегося и переходящего в шлак. Последнее уменьшает выход годного, снижая эффективность процесса. Следовательно, существует оптимальное значение расстояния фурмы, при котором повышение показателей эффективности процесса за счет дополнительного выделения тепла не приводит к существенным потерям процесса по другим статьям. Кроме того, известно, что характер дожигания CO, при постоянном положении фурмы, изменяется в процессе продувки, внося неопределенности в процесс управления. В этих условиях для решения задачи применено управление на основе нечеткой логики. Такое управление не требует знаний строгой математической модели объекта.

Степень дожигания CO в CO₂ в полости конвертера определяли по балансу составляющих в дутье, отходящем газе и воздухе

$$\gamma = \frac{\text{CO}_{2\Gamma} v_{\Gamma} - v_{\text{COp}}}{2\text{CO}_{2\Gamma} v_{\Gamma}},$$

$$v_{\Gamma} = \frac{\text{Ar}_B N_{2\text{д}} - \text{Ar}_D N_{2\text{в}}}{\text{Ar}_B N_{2\Gamma} - \text{Ar}_\Gamma N_{2\text{в}}} v_{\text{д}},$$

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

где CO_2 , N_2 , Ar – содержание соответствующей составляющей (“Г”, “В”, “Д”) – индексы соответственно газохода, воздуха и дутья, %; $v_{\text{Г}}$, $v_{\text{В}}$, v_{CO_2} – расход отходящих газов, дутья и расход кислорода на реакцию окисления CO в газоходе, $\text{м}^3/\text{мин}$.

В результате управления (рис. 1) удастся повысить степень дожигания CO в полости конвертера на 3 – 5 %.

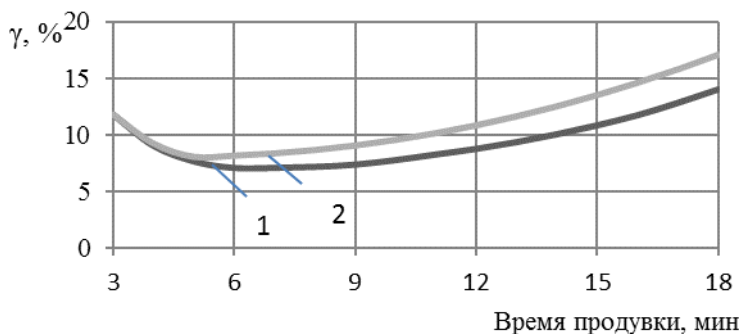


Рисунок 1 – Изменение массовой доли CO_2 при постоянном положении фурмы относительно расплава (1) и при регулировании расстояния фурмы на протяжении всего периода продувки (2).

Автоматизированное рабочее место оператора конвертера по управлению дутьевым режимом выполнено на основе ПЕОМ. Монитор и беспроводный Трекбол установлены на пульте конвертера, а системный блок – в помещении вычислительной техники. Соединение с системным блоком выполнено через усилители сигнала ATEN CE-250. Обмен информацией между контролером управления положения фурмы (*QUANTUM* с соответствующим ПЗО) и контролером управления расхода кислорода (промышленный контролер ROC-809) происходит по сети *Ethernet*. Для надежности, информация о расходе кислорода на продувку дублируется аналоговым сигналом. Выбор мощного контролера для регулирования положения фурмы обусловлен тем, что *QUANTUM* одновременно с регулированием положения фурмы измеряет технологические параметры и определяет необходимость блокирования процесса в случае возникновения аварийной ситуации.

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБЖИГА ОКАТЫШЕЙ С ПОВЫШЕНИЕМ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО
ПРИМЕНЕНИЯ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ**

*Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк, профессор, Е.В. Чупринов, ассистент,
Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, В.О. Кардаш,
Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ»*

Преимущество окускованного железорудного материала с остаточным углеродом заключается в его частичном и более быстром восстановлении в ходе доменной плавки за счет газификации закатанного внутрь углерода твердого топлива. Важным условием получения высококачественного окускованного материала с остаточным углеродом является эффективное накачивание и сцепление мелких компонентов шихты, как между собой, так и с поверхностью кусочков твердого топлива размером 1,5-10 мм, которые выполняют роль зародышей для образования прочных сырых окатышей.

Испытания проводились в полупромышленных условиях. Выделенный антрацит крупностью 0-10 мм обрабатывали натриевым лигносульфонатом и получали сырые окатыши, соответствующие требованиям последующего их термоупрочнения по гранулометрическому составу и прочностным показателям.

Были испытаны различные режимы термоупрочнения сырых окатышей. В ходе испытаний показано, что при увеличении скоростей нагрева (500 °С/мин.) и охлаждения (600 °С/мин.) уменьшилось общее время термоупрочнения окатышей, что позволило снизить степень выгорания в них углерода твердого топлива с 82,1 % до 10,3 %, увеличить производительность обжигового агрегата с 0,87 до 1,67 т/м²·ч и сократить удельный расход газа с 21,3 до 17,9 м³/т. Прочностные характеристики обожженных окатышей с остаточным углеродом и их свойства при восстановлении (прочность, газопроницаемость и усадка слоя) остались аналогичными обычным окатышам, а степень их восстановления возросла за счет газификации углерода, образования СО внутри окатышей и восстановления их изнутри. Также в разработанных окатышах с остаточным углеродом наблюдается увеличение общего железа (с 62,2-65,8 % до 63,5-65,9 %) и закиси железа (с 1,3-2,7 % до 7,6-18,4 %)

Таким образом, разработаны технологические режимы термоупрочнения сырых окатышей с закатанным внутрь твердым топливом (антрацитом), позволяющие получить в окислительной атмосфере теплоносителя конвейерной обжиговой машины обожженные окатыши, содержащие остаточный углерод в количестве от 0,7 до 3,5 %, что позволит снизить удельный расход кокса в доменной плавке.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ОКАТЫШЕЙ С ЗАКАТАННЫМ ВНУТРИ ТОПЛИВОМ
В СЛАБООКИСЛИТЕЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ**

*Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк, профессор, Е.В. Чупринов, ассистент,
Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, К.В. Чухан,
Криворожский металлургический институт, ГВУЗ "КНУ"*

Сложность технологий подготовки окученного железорудного сырья с остаточным углеродом заключается в двух аспектах: сохранении максимального количества не сгоревшего твердого топлива в окислительной атмосфере при спекании агломерата и обжиге окатышей, а также при их охлаждении; неконтролируемом развитии высоких температур при сгорании твердого топлива внутри железорудного материала, приводящее к его расплавлению и нарушению технологического процесса.

Для обеспечения минимального выгорания углерода закатанного в окатыши твердого топлива во время их термоупрочнения, кроме уменьшения времени пребывания окатышей в высокотемпературных зонах обжигового агрегата за счет увеличения скорости их нагрева и охлаждения, испытывалась возможность снижения содержания кислорода в теплоносителе этих зон. Испытания проводились в лабораторных условиях максимально приближенных к промышленным. Антрацит крупностью 0-10 мм обрабатывали натриевым лигносульфонатом, смешивали с шихтой и получали в чашевом окомкователе в непрерывном режиме сырые окатыши.

Результаты испытаний различных режимов показали, что при увеличении скорости нагрева высушенных окатышей до 500 °С/мин. и скорости охлаждения обожженных окатышей до 600 °С/мин. и одновременном снижении содержания кислорода в забалластированном воздухе для горения в зонах нагрева и обжига с 21 до 6,9 %, а также в отработанном газе для охлаждения обожженных окатышей с 21 до 3,8 % прочностные характеристики обожженных окатышей с остаточным углеродом по сравнению с аналогичными окатышами без углерода (прочность на сжатие, удар и истираемость) незначительно ухудшились, а прочность и истираемость при восстановлении – улучшились, повысилась и степень их восстановления. Удельная производительность установки возросла с 0,87 до 1,67 т/м²·ч, а степень выгорания углерода твердого топлива уменьшилась с 79,5 до 5,1 %. При этом увеличится в них содержание общего железа (с 62,2-65,8 % до 63,5-65,9 %) и закиси железа (с 1,3-2,7 % до 7,6-32,7 %) за счет частичного восстановления оксидов железа внутри окатышей в процессе термоупрочнения сырых окатышей.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
СИСТЕМ МЕТАЛУРГІЙНИХ МАШИН З МЕТОЮ
ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

І.М. Задорожня, доцент, М.О. Задорожній доцент,

О.О. Ребедак, аспірант, ДДМА

При проектуванні сучасних і модернізації діючих електроприводів основним завданням є точне відтворення заданих законів руху виконавчих органів машини. В електроприводах технологічних машин висока точність і максимально можлива швидкодія забезпечується, якщо при проектуванні аналізується вплив на динаміку пружних властивостей механічних передач та здійснюється оптимізація параметрів систем регулювання з метою демпфірування пружних механічно коливань за рахунок посилення електромеханічного зв'язку відповідно до теорії електромеханічної сумісності.

Механічна частина електропривода є системою зв'язаних мас, що рухаються з різними швидкостями поступально або обертаючись. При навантаженні елементи системи деформуються, тому що механічні зв'язки не є абсолютно жорсткими. При змінах навантаження елементи привода мають можливість взаємного переміщення, яке визначається жорсткістю зв'язку. За рахунок цих явищ в механічній частині привода збуджуються коливання, які прискорюють втомний знос механізмів.

Динамічні навантаження під час перехідних процесів можуть в 2-4 рази перевищувати статичні навантаження, що необхідні для здійснення технологічних процесів, тобто наявність динамічних навантажень коливального характеру призводить до:

- збільшення втомних руйнувань елементів механічних передач;
- зменшення строку експлуатації механічного та електричного обладнання;
- підвищення теплового навантаження на двигун та керований випрямляч;
- збільшення ймовірності виникнення аварійних ситуацій, поломок та простою обладнання;
- зниження стійкості системи;
- збільшення енергетичних втрат у перехідних режимах роботи обладнання та тривалості перехідних процесів;
- виникнення неузгодженості в русі робочого органу та двигуна.

Аналіз великої кількості публікацій по практичній оптимізації демпфуючого ефекту електроприводу в електромеханічних системах свідчить про те, що питання синтезу систем керування при реалізації принципів активного придушення пружних коливань залишаються актуальними.

ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕТАЛУРГІЙНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Згідно з відомими методами оптимізації електроприводу шляхом налаштування систем регулювання стає можливим значне обмеження динамічних навантажень, але вони неспроможні зменшити їх у максимально можливому ступені, тому що при такому налаштуванні повністю не використовуються демпфуючий ефект електропривода.

Одним із пріоритетних напрямів активного придушення пружних механічних коливань є синтез електромеханічних систем з реалізацією демпфуючої дії електропривода. Однак використовувати в цьому змісті на практиці методики синтезу параметрів і структур електромеханічних систем припускають мінімізацію реакції електропривода на дію коливань механічної частини, у дійсності в електромеханічній системі необхідно розглядати взаємодію коливань.

Практично задача демпфування пружних коливань розглядалася для механічної частини приводу слябового підйомника. При дослідженні було розглянуто специфічну особливість динамічних систем – тісний взаємозв'язок процесів в електричній і механічній підсистемах. Практично реалізувати потенційні можливості електричних двигунів, силової електроніки, засобів обчислювальної й вимірювальної техніки виявилось проблематичним через вплив на динаміку приводу пружних механічних ланок.

У результаті досліджень синтезована система керування з обмеженням динамічних навантажень із використанням адаптивного регулятора, що раніше в слябовому підйомнику не використовувалося, перевірено функціонування підйомника в режимі максимального придушення пружних коливань, проведено дослідження впливу коефіцієнтів ПД-регулятора швидкості на розташування коренів бажаного характеристичного полінома замкнутої системи керування та на її характеристики.

Виконані дослідження дозволяють виключити один з основних недоліків при роботі слябового підйомника – великі динамічні перевантаження механічної та електричної частин приводу.

Проведене моделювання розробленої системи підтвердило ефективність функціонування електроприводу слябового підйомника вертикальної машини безперервного лиття заготівель при налаштуванні параметрів на мінімум коливальності, що дозволить покращити техніко-економічні показники функціонування технологічної машини, зменшити матеріальні та енергетичні втрати.

**РОЗРОБКА ВОДНЕВОГО ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО
КОМПЛЕКСА ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА**

О.В. Кошельник, доцент, НТУ «ХПІ»

Рівень нагріву гарячого дуття, який сьогодні складає 1150 – 1250 °С, визначає питому витрату коксу й продуктивність доменних печей. Температура димових газів, що відходять, після повітрянагрівачів становить 250 – 400 °С. Це свідчить про значний невикористаний потенціал вторинних енергоресурсів доменного виробництва. Для використання теплоти такого низького температурного потенціалу можливо введення додаткового ступеня утилізації теплоти, що дає можливість здійснити підігрів компонентів горіння для регенеративного повітрянагрівача – доменного газу та повітря – до температури 150 – 180 °С, що в свою чергу дозволить підвищити температуру гарячого дуття до 1300 – 1350 °С.

Найбільш ефективним з точки зору більш повного застосування енергетичного потенціалу органічного палива є використання утилізаційних схем з когенерацією або тригенерацією. Висока термодинамічна ефективність водню є передумовою розгляду його в якості робочого тіла для теплоутилізаційних енергоперетворювальних комплексів. Технічні можливості теплоенергетичних установок з водневими турбоагрегатами та термосорбційними компресорами, спосіб роботи яких базується на властивості оборотних металогідридів поглинати водень низького тиску і виділяти його при нагріванні під підвищеним тиском, відкривають принципово новий шлях створення енергетичних установок, що зможуть забезпечити отримання різних видів енергії за рахунок споживання теплоти низького температурного потенціалу.

Проведене розрахунково-теоретичне дослідження роботи водневих теплоутилізаційних енергоперетворювальних комплексів для одночасного отримання теплової та електричної енергії показало ефективність їх використання в технологічних схемах доменного виробництва.

НОВЫЙ МЕТОД ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

С.Л. Макуров, профессор, Б.В. Ефременко, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ»

Методики внешних воздействий на кристаллизующийся металл в процессе непрерывной разливки применяются повсеместно на отечественных и зарубежных предприятиях. Самым распространенным методом является метод качания кристаллизатора МНЛЗ.

Новый метод внешнего воздействия предполагает использование ударно-импульсных воздействий для уплотнения корковой зоны формирующейся непрерывной заготовки. Данное воздействие формируется с помощью легкоиспаряющихся добавок, вводимых в расплав в процессе разливки. Весьма быстрое и интенсивное испарение вводимых добавок образует фронт избыточного давления, который распространяясь во всем объеме слитка воздействует на растущие ветви дендритов. В результате интенсивного воздействия происходит обламывание дендритов. После обламывания дендритов конвективные потоки уводят осколки дендритов в жидкую сердцевину заготовки, а оставшиеся дендриты деформируются, тем самым уплотняя корковую зону заготовки. Выведенные в жидкую сердцевину осколки дендритов, впоследствии, служат дополнительными центрами кристаллизации.

Данное воздействие позволяет ограничить рост дендритного каркаса, что в свою очередь положительно сказывается на структуре готового полупродукта в виде непрерывно литой заготовки. Дополнительное перемешивание жидкой сердцевины улучшает усреднение химического состава металла заготовки.

Комплекс эффектов, которые оказывает ударно-импульсное воздействие, позволяет увеличить прочность корковой зоны, что в свою очередь снижает вероятность образования дефектов и возникновения прорыва металла, который обычно возникает за счет малой прочности корочки заготовки. Дополнительное обламывание ветвей дендритов благоприятно сказывается на формировании структуры заготовки, образуя новые центры кристаллизации непосредственно в среде расплава.

ПРОЧНОСТНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Н.Н. Нагнибеда, студент, В.В. Кухарь, профессор, ГВУЗ «ЛПТУ»

Основными характеристиками гнутых профилей являются геометрические и прочностные параметры. В качестве базовых прочностных характеристик используют предел текучести и предел прочности материала до и после деформации. Геометрические характеристики: площадь поперечного сечения, осевой, полярный, центробежный моменты инерции и др. Для получения данных о значениях прочностных характеристик проводят испытания: на растяжение (для армирующих профилей), кручение, изгиб. Для получения информации о геометрических характеристиках проводят физико-геометрический анализ поперечных сечений профилей.

Производство гнутых профилей холодной прокаткой существенно расширяет технологические возможности способа и позволяет менять конфигурацию профиля в зависимости от технических требований, требований заказчика, геометрических изменений в исходном сырье.

Испытания и необходимые расчеты были выполнены в соответствии с действующими нормативными документами. После вычисления координат центра масс и площади поперечного сечения профиля определяли величины таких характеристик, как радиусы инерции, осевые моменты инерции, полярные, главные и центробежные моменты инерции, моменты сопротивления профиля на изгиб в различных направлениях, а также моменты инерции и сопротивления.

Показана экономико-экологическая обоснованность изготовления холодногнутой профилей способом последовательного профилирования в валках. Определены геометрические и прочностные показатели стальных гнутых профилей новой конфигурации. Корректировка конструкции профиля не требует существенных изменений технологии, однако геометрические отклонения будут более чувствительны к точности настройки стана.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА МАРКИ MnC17

*А.Ф. Петров, научный сотрудник, Э.В. Приходько, профессор, Л.А. Головки,
научный сотрудник, Н.Е. Ходотова, младший научный сотрудник,
Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины*

В общей структуре производимых в мире ферросплавов – комплексных раскислителей и легирующих для сталеплавильной промышленности марганцевые ферросплавы по тоннажу их выплавки и удельному расходу при производстве стали занимают лидирующее положение.

Характерной особенностью ферросиликомарганца, производимого заводами Украины, является повышенное, по сравнению с продукцией зарубежных производителей, содержание марганца на уровне 72-75 %, против 66-68 %. Это повышает конкурентоспособность сплава на международном рынке, однако вопрос выбора рационального состава сплава требует детального изучения, прежде всего комплекса потребительских свойств [1]. Наиболее востребованным является сплав марки MnC17 (15-25 % Si, не менее 65 % Mn).

Имеющаяся практика экспериментального определения свойств ферросплавов в настоящий момент проблематична по причинам сложного аппаратного и организационного оформления, а также ввиду требуемых значительных финансовых затрат. Поэтому научный и практический интерес представляют расчетные методы определения свойств ферросплавов, позволяющие прогнозировать составы с целью оптимизации их характеристик.

В настоящей работе, для прогнозной оценки физических и теплофизических свойств на примере ферросиликомарганца марки MnC17 авторы рассматривают возможности использования разработанной методики, основанной на описании строения и свойств многокомпонентных расплавов и твердых растворов [2]. Информация о составе сплавов закодирована в виде параметра Z^y , являющегося его электронным химическим эквивалентом, структурного параметра d , характеризующего среднестатистическое расстояние между атомами и избыточных параметров ΔZ^y и Δd , учитывающих микронеоднородность структуры соответствующих расплавов.

По рассмотренной методике моделирования с использованием предлагаемых физико-химических критериев Z^y , d , ΔZ^y и Δd , были спрогнозированы следующие характеристики ферросиликомарганца марки MnC17: температура плавления (T_L , °C), плотность ($D \cdot 10^3$, кг/м³), теплопроводность (λ , Вт/м·°C), теплоемкость (C_{mo} , Дж/кг·°C), теплота плавления ($Q_{пл}$, кДж/кг), коэффициент температуропроводности ($\alpha \cdot 10^{-3}$, м²/с).

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИИ ПРОМЫСЛОВСТИ

В таблице приведены рассчитанные физические и теплофизические свойства ферросиликомарганца марки МнС17. Интервал имеющихся в научной литературе экспериментальных значений свойств, находится внутри интервала их расчетных значений.

Таблица 1 – Прогнозные значения свойств ферросиликомарганца стандартных марок (ДСТУ 3548-97)

№ п/п	Марка ферро- сплава	D , кг/м ³	$T_{пл}$, К	$C_{ж}$, Дж/кг·К	Q , кДж/кг	λ , Вт/м·К	$\alpha \cdot 10^{-3}$ м ² /с
1	МнС17	6210	1533	717	477	21,6	4,7

Полученные расчетным путем значения свойств ферросиликомарганца марки МнС17 могут быть использованы в качестве исходных параметров при математическом, физико-химическом и физическом методах моделирования процессов, происходящих в плавильном агрегате или сталеразливочном ковше.

Литература

1. Рудовосстановительные электропечи и технологии производства марганцевых ферросплавов. В.С. Куцин, Б.Ф. Величко, М.И. Гасик, В.А. Гладких и др. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – 508 с. – ISBN 978-966-2596-03-8.

2. Приходько Э.В., Петров А.Ф. Физико-химические критерии для оценки степени микронеоднородности металлических расплавов. // Металлофизика и новейшие технологии. – 1998. – т.20. - №7. –С.64-74.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ОБЖАТИЙ ПОЛОС НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

А.Г. Присяжний, доцент, Н.А. Святой, аспирант, ГВУЗ «ЛПТУ»

Одной из актуальных задач производства холоднокатаных полос толщиной менее 0,3–0,4 мм на непрерывных станах является обеспечение требуемых показателей точности размеров и плоскостности проката, а также снижение удельной энергоёмкости процесса прокатки.

Для решения указанной задачи разработали алгоритм и соответствующую ему компьютерную программу оптимизации режимов обжатия полос на непрерывных станах холодной прокатки (НСХП). При этом в качестве критерия оптимальности использовали заданное соотношение сил прокатки в клетях НСХП. Разработанная компьютерная

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

программа позволяет найти такое распределение обжатий металла по клетям НСХП, которое соответствует данному критерию оптимальности, а также системе технологических ограничений по режиму межклетевых натяжений, продольной устойчивости полосы, контактной прочности валков, допустимым значениям энергосиловых параметров, скорости, температуры прокатки и другим показателям. При этом исходили из условия, по которому обеспечивается постоянство силы прокатки от 1-ой до n-ой клетки НСХП, т.е. $P_i = \text{const}$ (i – номер клетки стана, $1 \leq i \leq n$; n – количество клеток стана; P_i – сила прокатки в i -ой клетки стана). Соблюдение указанного условия, как показали выполненные расчеты напряженно-деформированного состояния валковых узлов, позволяет минимизировать несоответствие друг другу значений упругих прогибов валков отдельных клеток НСХП. Это, в свою очередь, обеспечивает такие условия деформации полос, которые способствуют снижению неплоскостности проката.

С помощью разработанной компьютерной программы выполнили оптимизацию режима обжатий полосы сечением 0,35x1020 мм из стали марки 08кп на четырехклетевом НСХП 1700 ПАО «ММК им. Ильича». Анализ полученных результатов показал, что распределение относительных обжатий металла по клетям данного НСХП, соответствующее равенству $P_i = \text{const}$, по сравнению со случаем, в котором $P_i \neq \text{const}$, способствует не только уменьшению неплоскостности получаемого проката, но и снижению показателя удельной энергоемкости процесса деформации.

СПОСОБЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС

Н.А. Святой, аспирант, ГВУЗ «ЛПТУ»

Из всех способов пластической деформации металлов холодная прокатка является наиболее энергоемкой. Следовательно, сокращение расхода электроэнергии на листовых станах холодной прокатки является актуальной задачей. В соответствии с этим проанализировали некоторые из известных способов энергосбережения при производстве холоднокатаных полос.

В результате анализа выделили такие способы уменьшения энергозатрат при листовой прокатке: 1) асимметричная прокатка с рассогласованием окружных скоростей верхнего и нижнего рабочих валков в клетях, имеющих индивидуальный привод (кинематическая асимметрия), или с разными коэффициентами трения на верхней и нижней контактных поверхностях (контактная асимметрия); 2) уменьшение диаметра рабочих валков в 2-3 раза по сравнению с традиционными

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИИ ПРОМЫСЛОВСТИ

конструкциями широкополосных станов и перенос главного привода с рабочих на опорные валки; 3) оптимизация режимов обжатий и межклетевых натяжений; 4) применение технологических смазок.

По данным В.А. Николаева использование кинематической и контактной асимметрии при листовой прокатке (см. способ 1) снижает силовые параметры процесса на 5–15%. Изменение конструкции рабочих клеток листовых станов холодной прокатки (см. способ 2), как отмечает Э.А. Гарбер, обеспечивает экономию электроэнергии от 5 до 40%. Исследования Я.Д. Василева (см. способ 3) показали, что увеличение относительных напряжений натяжения от первого к последнему межклетевым промежуткам снижает расход электроэнергии на 2–10%, а уменьшение относительного обжатия от первой клетки к последней обеспечивает понижение суммарной мощности их приводных двигателей. Высокая эффективность 4-го способа энергосбережения при холодной прокатке доказана результатами экспериментов А.П. Грудева, В.Т. Тилика, О.П. Максименко, В.И. Капланова и других ученых.

Использование 1-го и 2-го способов энергосбережения эффективно, но для непрерывных станов холодной прокатки (НСХП) Украины требует финансовых затрат, прежде всего из-за необходимости изменения конструкции клеток. Поэтому снижение энергозатрат в условиях данных НСХП целесообразно в первую очередь за счет оптимизации режимов обжатий и межклетевых натяжений, а также использования эффективных технологических смазок.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРЯДКА ЗАГРУЗКИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИХ ВЫСОКИХ СЛОЕВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ НАГРУ- ЗОК ПО РАДИУСУ КОЛОШНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В.В. Семаков, ассистент, ГВУЗ «ПГТУ»

Формирование высоких слоев кокса и железорудного сырья в столбе шихтовых материалов способствует повышению производительности доменных печей (ДП) и снижению удельного расхода кокса. Для обеспечения рационального распределения газового потока по радиусу колошника необходимо выдерживать определенное соотношение между количеством рудной шихты и кокса, характеризующееся величиной рудной нагрузки (РН).

В лабораторных условиях на секторной модели колошника ДП (М 1:10) исследовано радиальное распределение относительных РН при различных циклах загрузки, обеспечивающих последовательную подачу

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИИ ПРОМЫСЛОВСТИ

в печь 4 скипов однородных материалов (рис.):

1 – $\begin{matrix} \text{AAAA} \downarrow \\ \text{KKKK} \downarrow \end{matrix}$; 2 – $\begin{matrix} \text{AAA} \downarrow \\ \text{AKKK} \downarrow \end{matrix}$; 3 – $\begin{matrix} \text{KAA} \downarrow \\ \text{AAKK} \downarrow \end{matrix}$; 4 – $\begin{matrix} \text{KKA} \downarrow \\ \text{AAAK} \downarrow \end{matrix}$; 5 – $\begin{matrix} \text{AA} \downarrow \\ \text{AAKKK} \downarrow \end{matrix}$,

что позволяет формировать высокие газопроницаемые прослойки кокса.

Результаты экспериментов, представленные на рисунке, показали, что раздельная загрузка увеличенных порций агломерата и кокса (цикл 1), которая применяется в доменном цехе ПАО «ММК им. Ильича» с 2001 г., при повышении рудной нагрузки до 4,8 кг / кг кокса способствует относительно равномерному ее распределению по секторам колошника с несколько разгруженной периферией $RH_1 = 0,79$ д. ед. (кривая 1). Принималось, что при относительной рудной нагрузке $RH < 1$, которая рассчитывалась как отношение фактической RH в i -ом секторе к рудной нагрузке за полный цикл подач, газопроницаемость слоя шихты повышенная, а при $RH > 1$ – пониженная. Однако чрезмерное развитие периферийного потока газов приводит к перерасходу кокса. Кроме того, загрузка печи раздельными утяжеленными подачами исключает регулирование распределения материалов по радиусу колошника изменением порядка загрузки рудных и коксовых скипов.

Сформировать высокие слои однородных материалов возможно последовательной загрузкой нескольких скипов рудных материалов или кокса в цикле подач, например, четырех скипов однородного материала в цикле из двух подач. Различные циклы, состоящие из трехскиповой и пятискиповой подач, приведены выше: № 2-4.

Загрузка раздельной трехскиповой подачи агломерата совместно со смешанной пятискиповой подачей, в которой первым загружается один скип агломерата, а затем четыре скипа кокса (цикл 2), разгружает сектор, находящийся у оси ДП (ОДП), $RH_5 = 0,18$ д. ед., подгружая периферию $RH_1 = 1,07$ д. ед., и характеризуется двумя рудными гребнями $RH_2 = 1,37$ д. ед. и $RH_4 = 1,07$ д. ед. (волновое распределение RH). В производственных условиях применение данной системы загрузки несколько снижает производительность печи. Рациональное радиальное распределение RH обеспечивает цикл № 3, более равномерно подгружающий периферийную и раскрывающий осевую зоны, при большем раскрытии центра ($RH_5 = 0,15$ д. ед.) с максимальной $RH_3 = 1,24$ д. ед. в промежуточной зоне и пониженной у стен $RH_1 = 1,03$ д. ед., что способствует формированию умеренно развитого периферийно-осевого газового потока. Целесообразно применять данный цикл подач совместно с периодической загрузкой раздельной двухскиповой подачи агломерата $AA \downarrow$, подгружающей периферию, например, после пяти полных циклов.

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

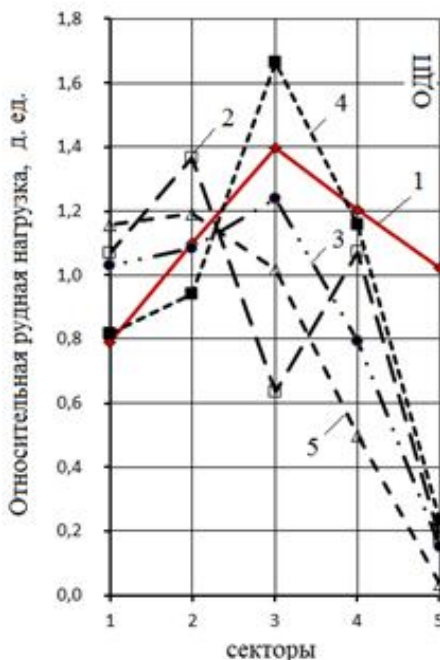


Рисунок 1 – Распределение рудных нагрузок по секторам модели ковшника

Цикл № 4 в большей мере разгружает периферийную зону, максимально подгружая промежуточную – $RH_3 = 1,66$ д. ед. и прилегающую к ней часть центральной, при раскрытии осевой зоны ($RH_5 = 0,23$ д. ед.).

Наибольшему раскрытию центра способствует цикл № 5, состоящий из раздельной двухскиповой подачи агломерата и смешанной шестискиповой подачи, в которой первыми загружаются два скипа агломерата, а затем четыре скипа кокса. При этом относительная рудная нагрузка в центре составляет 0,04 д. ед., а на периферии – 1,16 д. ед. Данная система загрузки способствует формированию осевого газового потока, способствующего более экономичной работе печи.

ВАЖНОСТЬ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫПЛАВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

П.С. Харлашин, профессор, С.А. Герасин, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ»

В настоящее время в металлургической промышленности значительно обострилась конкуренция и стремление снизить себестоимость металлопродукции путем экономии энергоресурсов, материалов, повышением комплексных энергоэффективных технологий выплавки стали, уменьшения продолжительности простоев, снижения отходов и повышения качества готовой продукции. Таким образом энергоресурсосбережение выходит практически на первый план в работе производственных предприятий и научно-исследовательских организаций.

Потребности металлопотребляющих отраслей промышленности непрерывно возрастают. Для получения высококачественных марок стали необходимо учитывать множество факторов, которые влияют на конечную продукцию. Улучшение качества получаемой металлопродукции непосредственно связаны с развитием и совершенствованием технологий выплавки стали в кислородных конвертерах, внепечной обработки металлов и разлива стали на МНЛЗ.

Грамотный анализ сталеплавильного процесса, а также исследование и разработка комплексной энергоэффективной технологии конвертерного производства стали, может дать возможность достичь оптимальных конечных параметров технологического процесса при минимальных материальных и энергетических затратах, а применение новой технологии в производство позволит:

- снизить себестоимость качественных и других марок стали;
- сохранить энергетические и материальные ресурсы;
- улучшить параметры технологического процесса выплавки стали.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ С АУСТЕНИТ- НОЙ СТРУКТУРОЙ

Ю.Г. Чабак, старший преподаватель, ГВУЗ «ПГТУ»

Высокохромистые чугуны с аустенитной структурой матрицы обладают плохой обрабатываемостью резанием, что связано с высокой склонностью аустенита к упрочнению при деформации. Проблема присутствия аустенита в структуре особенно актуальна для обрабатываемости резанием высокохромистых чугунов, дополнительно легированных элементами, расширяющими γ -область (Mn, Ni, Cu) и снижающими

ЭНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕНИЯ В МЕТАЛУРГИЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

ми точку начала мартенситного превращения (290X12Г5, 220X14Г2Н, 330X18ГЗСМ, 210X12Г5, ЧХ15Г4ТЮ и т.д.); содержание аустенита в металлической матрице таких чугунов может достигать 100 %. Стандартные режимы смягчающей термообработки не приводят к полному разложению аустенита ввиду его высокой устойчивости к распаду по перлитному механизму.

Целью работы являлся поиск новых энергосберегающих режимов предварительной смягчающей термической обработки, обеспечивающих повышение обрабатываемости резанием отливок за счет формирования оптимальной микроструктуры. В ходе исследований были использованы металлографический анализ, испытания на твердость и обрабатываемость резанием.

В результате проведения экспериментов изучили кинетику фазово-структурных изменений в литом высокохромистом чугуне в ходе выдержки в субкритическом интервале температур (350-700 °С). Исследован чугун состава: 2,70 % С; 2,20 % Мн; 0,55 % Si; 14,55 % Сг; 0,93 % Ni; 0,39 % Мо; 0,38 % V; 0,11 % Ti. С применением микроструктурного метода построена С-диаграмма распада первородного (литого) аустенита в чугуне. Установлено, что в пределах выдержки до 25 ч превращение аустенита протекает лишь в области температур 550-700 °С с образованием эвтектоида, состоящего из феррита и карбидов цементитного типа волокнистой или пластинчатой формы. Кинетический максимум превращения соответствует 650 °С, инкубационный период при этой температуре составляет 5 мин, завершение превращения фиксируется после 8 ч выдержки. Образование эвтектоида при 700 °С сопровождается выделением из аустенита вторичных карбидов. Повторная выдержка чугуна с эвтектоидной матрицей при 650-700 °С в течение до 25 ч сопровождается полной сфероидизацией и коагуляцией эвтектоидных включений, что приводит к формированию ферритной матрицы с зернистыми карбидами средним диаметром 0,225-0,280 мкм. В процессе повторной выдержки изменения типа карбидов не происходит.

Энергия активации формоизменения карбидных частиц составляет 73,14 кДж/моль, что указывает на контролируемую роль диффузии углерода в феррите в процессах сфероидизации и коагуляции эвтектоидных карбидов. В результате двойной выдержки в области сукупных температур твердость чугуна снижается до 38-41 HRC, что обеспечивает чугуну удовлетворительную обрабатываемость резанием.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ С ЗАКАТАННЫМ ВНУТРЬ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ

*Е.В. Чупринов, ассистент, Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк,
профессор, Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, М.О. Дюба,
Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ»*

Удельный расход кокса на сегодняшний день является самой главной затратной статьей при выплавке чугуна. В связи с этим, технологии частичной замены металлургического кокса в доменной плавке другими видами менее дефицитных и менее дорогостоящих топлив – перспективное направление. Ввод в доменную печь топлива в составе окускованного железорудного материала энергоэффективно при условии сохранения или улучшения металлургических характеристик этого материала. Для совершенствования технологии производства и снижения количества выгорающего углерода внутри окатышей проведены испытания, показавшие возможность получения окатышей, отвечающих требованиям доменной плавки с минимальным усложнением принятого промышленной технологии получения и термоупрочнения окатышей, а также максимальным сохранением остаточного углерода твердого топлива в составе окатыша после его термоупрочнения и охлаждения.

Для использования в окатышах выделялся антрацит крупностью 0-10 мм. Частицы крупностью 1,5-10 мм выполняли роль зародышей, а < 1,5 мм - накатывались на них вместе с шихтой. Выделенное топливо обрабатывалось водным раствором натриевого или аммониевого лигносульфоната для повышения гидрофильности поверхности угольных частиц. Смешанная с антрацитом шихта дозировалась в окомкователь, где получали сырые окатыши.

Испытания показали, что после обработки антрацита реагентом при оптимальном его удельном расходе, в процессе получения окатышей в чашевом окомкователе, при одинаковой его производительности и при практически одинаковой влажности полученных сырых окатышей, количество годной фракции (8-20 мм) в сырых окатышах с полностью закатанным антрацитом составило 92,3-94,1 %, а их прочностные характеристики практически были аналогичны сырым окатышам без твердого топлива. Без обработки топлива лигносульфонатом в окатыши закатывалось всего 32,8 % кусочков антрацита, а их прочностные характеристики были ниже базовых.

В ходе испытаний определены оптимальные значения удельного расхода реагента для обработки антрацита и накатывания шихты на все его кусочки, отработаны технологические параметры изменения гидрофобной поверхности антрацита на гидрофильную и режимы получения сырых окатышей необходимых гранулометрического состава и прочностных характеристик для последующего их термоупрочнения.

**ОФЛЮСОВАННОЕ ОКУСКОВАННОЕ СЫРЬЕ
С ОСТАТОЧНЫМ УГЛЕРОДОМ – ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ
МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ**

*Е.В. Чупринов, ассистент, Ф.М. Журавлев, доцент, В.П. Лялюк,
профессор, Д.А. Кассим, доцент, И.А. Ляхова, доцент, Н.И. Кравчук,
Криворожский металлургический институт, ГВУЗ «КНУ»*

Проведена отработка технологии получения офлюсованного окускованного материала, в максимальной степени отвечающего требованиям доменной плавки. Подготавливались две шихты для получения сырых окатышей с высокой и низкой температурами плавления. Шихта для получения сырых окатышей с в.т.п. была низкоосновной, смешивалась с антрацитом крупностью 0-10 мм, обработанным реагентом. Шихта для получения сырых окатышей с н.т.п. была высокоосновной. Из каждой шихты получали сырые окатыши необходимой крупности: с в.т.п. - 14-20 мм, а с н.т.п. - 8-14 мм, после чего их смешивали перед термоупрочнением в определенном соотношении для получения продукта заданной основности.

Смесь сырых окатышей загружалась слоем высотой 300 мм в обжиговую чашу и подвергалась термообработке, включающую сушку, нагрев, высокотемпературный обжиг и охлаждение. Отрабатывали разные режимы нагрева и охлаждения при одинаковой продолжительности обжига. Показано, что при увеличении скоростей нагрева и охлаждения до 500-600 °С/мин. содержание остаточного углерода в спеках возрастает до 2,5 %, увеличивается содержание железа и закиси железа в готовом продукте, возрастает удельная производительность обжигового агрегата (с 0,87-0,96 т/м²·ч до 1,51-1,67 т/м²·ч) и снижаются удельные расходы энергоносителей.

Прочностные характеристики спеков с остаточным углеродом практически остаются такими же, как и спеков без углерода, а свойства в процессе восстановительно-тепловой обработки спеков с остаточным углеродом улучшаются. Так, прочность при восстановлении возрастает с 92,3 % до 92,8-95,4 %, а истираемость при восстановлении снижается с 4,7% до 4,6-2,7 %. Увеличивается при этом и степень восстановления спеков с 87,5 % до 90,2-93,8 %. Угол естественного откоса спеков с остаточным углеродом (37-41 град.) аналогичен агломерату и спекам без углерода. Исходя из полученных данных при испытании режимов термообработки смеси высокотемпературных и низкотемпературных сырых окатышей, возможен выбор оптимальных параметров для получения готового продукта - офлюсованных локальных спеков с остаточным углеродом с целью обеспечения заданных режимов доменной плавки, обеспечивающих её максимальную производительность и минимальный удельный расход кокса.