

концентрацій лантану визначали зі ступенем зростання мікротвердості карбідної фази. При концентраціях 0,1% лантану мікротвердість карбідної фази була максимальною. Подальше збільшення вмісту цього елемента призводило до утворення великої кількості неметалевих включень, які зменшували міцність чавуну. Ураховуючи, що церій у першу чергу витрачається на рафінування розплаву розраховували максимально необхідні його вмісти, а потім за ступенем зростання мікротвердості матриці визначали максимальну його концентрацію. При вмістах 0,15% церію (в комплексі з 0,1% лантану) мікротвердість матриці була максимальною. У запропонованому чавуні гафній виявляв перлітоутворюючий вплив на структуру металеві матриці та підвищував дисперсність перліту, за цього збільшувалися показники міцності та ударостійкості. При вмістах гафнію менше за 0,05% цей вплив був незначний, підвищення ж вмісту вище за 1,0% призводило до зменшення міцностних властивостей. Слід відмітити, що ступінь модифікуючого впливу індивідуальних елементів-модифікаторів, що розглянуто, значною мірою зростає при комплексному використанні та у більшості випадків модифікування індивідуальним елементом-модифікатором не дозволяє досягти результатів, що були одержані при комплексному модифікуванню.

В результаті проведених досліджень обраний модифікувальний комплекс значно поліпшує структуру та фізико-механічні властивості чавуну: збільшується дисперсність перліту з ПД1,0 до ПД0,5 та ПД0,3, ударостійкість досягає 25-29 разів, а міцність  $\sigma_B^{612} - 735-760$  МПа.

УДК 621.74

*Д. А. Ковалев, Н. Д. Ванюкова*

*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск*

#### **РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ОКАТЫШЕЙ**

Для производимых в настоящее время окисленных окатышей характерен целый ряд недостатков, делающих их неконкурентноспособными с агломератом: низкая основность, сегрегация при загрузке в доменную печь, сравнительно низкие свойства при восстановлении в нижней части доменной печи, связанные с усадкой и низкой газопроницаемостью слоя.

Все разработанные до настоящего времени технологии получения углеродсодержащих материалов включали обжиг рудоугольных брикетов или окатышей в нейтральной или восстановительной атмосфере. Применительно

к типовым конвейерным обжиговым машинам это связано с потерей производительности. Ни одна из них не получила распространения. Поиск путей улучшения качества железорудных окатышей привел к техническому решению производства в промышленных условиях самовосстанавливающихся материалов, использование которых в доменной плавке снижает расход кокса и повышает производительность доменной печи.

В Украине существует большой парк обжиговых машин, характеризующихся сравнительной простотой конструкции и технологии получения на них окатышей. Существует также принципиальная возможность перевода этих обжиговых машин на технологии производства окатышей из шихт с добавкой твердого топлива. Обжиговая машина может служить базовым агрегатом для производства самовосстанавливающихся окатышей. Теоретические основы этой технологии включают решение задач, связанных с динамикой тепло-массообменных процессов в слое железорудных окатышей, содержащих углерод. Цель работы заключалась в разработке и оптимизации технологии получения самовосстанавливающихся окатышей и определении их металлургических свойств. Задача совершенствования технологии производства самовосстанавливающихся окатышей сводится к поиску связи между выходными технологическими параметрами и входными параметрами, воздействующими на технологию.

Кинетика нагрева и охлаждения углеродсодержащих окатышей показывает, что с увеличением массовой доли углерода скорость нагрева обратно, а скорость охлаждения прямо пропорциональны ее величине, что объясняется протеканием эндотермических восстановительных реакций, а также теплоемкостями концентрата и коксика.

Для получения самовосстанавливающихся окатышей необходимо, чтобы время термообработки окатышей в диапазоне температур воспламенения и горения углерода было меньше времени полного его «выгорания». Выполнением требования сокращения времени термообработки верхней части слоя было обусловлено прекращение подачи природного газа, что позволило уменьшить время термообработки почти в 2 раза.

Обычный способ охлаждения атмосферным воздухом может привести к дополнительному разогреву слоя за счет горения углерода, что снижает его массовую долю в готовых окатышах и приводит к плавлению слоя. Во избежание этого был теоретически обоснован и практически осуществлен на аглочаше способ охлаждения окатышей, значительно снижающий указанные негативные явления. В результате ступенчатого охлаждения в структуре окатышей сохраняется необходимая массовая доля углерода и достигается высокая степень предварительного восстановления при достаточной прочности окатышей.

Структура самовосстанавливающегося окатыша состоит из четко выра-

женных зон: периферии, переходной зоны и центральной части, различающихся по минералогическому составу и структуре.

Окатыши характеризуются высокой пористостью, что в условиях высокотемпературной обработки в доменной печи приведет к интенсификации процессов восстановления оксидов железа.

На основании проведенного минералогического анализа можно сделать следующие выводы:

- при определенных условиях температурно-тепловой обработки возможно сохранить определенное количество углерода в структуре окатыша, что характеризует его, как самовосстанавливающийся железосодержащий окускованный продукт;

- выгорание углерода и использование его восстановительного потенциала происходит зонально. Это определяется распределением углерода по сечению образца. Центральная часть содержит 21,1% по объему, а в переходной зоне сосредоточено 10,1% остаточного углерода. В периферийной зоне топливо отсутствует.

Длительность термообработки рудугольных окатышей и связанная с ней степень окисления углерода определяются достижением заданных температур в нижнем слое окатышей, обусловленных уровнем максимальных температур в горне и скоростью фильтрации теплоносителя. Сократить продолжительность термообработки можно снижением высоты слоя, увеличением скорости фильтрации газа-теплоносителя.

Для сохранения остаточного углерода необходимо стремиться также к увеличению диаметра окатышей, содержания углерода в них и снижению кислорода в газовой фазе.

УДК 621.74

*Д. А. Ковалев, Н. Д. Ванюкова*

*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО УГЛЕРОДА В ОКАТЫШАХ В УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ**

Возросшие потребности всех отраслей народного хозяйства в металлопродукции в последние годы поставили перед металлургами задачи по повышению объема производства металла и улучшению его служебных свойств. В значительной степени решение этой задачи сдерживается повышенным расходом кокса на вылавку чугуна в доменной печи и связанные с этим проблемы качества металла и экологической обстановки. Анализ многочисленных публикаций свидетельствует, что выполненные исследования направлены на совершенствование уже известных энергосберегающих технологий, в частности, вдувание пылеугольного топлива, повышение содержания железа в концентрате, улучшение гранулометрического состава агломерата и окатышей. Каждое техническое решение, научный поиск в области снижения расхода кокса на выплавку чугуна позволяет решить на определенном уровне задачу энергосбережения в металлургии. Установлен предельный расход кокса с учетом научно-технических достижений в доменном производстве.

Расход кокса в значительной мере, как уже отмечалось, регламентируется технологией доменной плавки, составом и свойствами окускованного сырья. В процессе подготовки металлургического сырья к доменной плавке не всегда удается получить гарантированные показатели качества, обеспечивающие низкий расход кокса.

Выполненные в различные годы теоретические и экспериментальные исследования по использованию в доменной плавке металлизированных железорудных материалов с различной степенью металлизации (вплоть до 100%) позволили сделать вывод о возможности их эффективного применения. В ряде работ отечественных и зарубежных авторов отмечалось, что достигаемая при этом экономия кокса составляет от 4 до 8 %, а рост производительности доменной печи – от 1,5 до 10 % на каждые 10 % металлизации шихты. В свое время эти данные обобщил и проанализировал А.Н.Рамм.

Основным фактором, препятствующим до настоящего времени широкому использованию в доменной плавке металлизированных материалов, является достаточно высокая их стоимость, и, как следствие - экономическая нецелесообразность их применения. Это обусловлено, прежде всего, высокими энергетическими затратами, характерными для известных процессов твердо- и жидкофазного восстановления.

Альтернативным решением, заслуживающим дальнейшего развития,