

УДК 621.1.016:669

С.В. КОРНЕЕВ, канд.техн.наук,
И.Н. ПЛЮЩЕВСКИЙ, канд.техн.наук,
И.А. ТРУСОВА, д-р техн.наук (БНТУ),
А.В. МАТОЧКИН (ГНПО «Белстанкоинструмент»)

ОСОБЕННОСТИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДСП ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ШИХТЕ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ

Известно, что в последние десятилетия широкое развитие получило применение электродуговых печей для выплавки стали в условиях как металлургических, так и машиностроительных предприятий. В настоящее время, учитывая высокие требования к свойствам выплавляемой стали, остро стоит вопрос использования качественных шихтовых материалов, что обусловило распространение процесса выплавки стали с использованием железа прямого восстановления в дуговой печи с целью передела металлizedованного сырья в высококачественную сталь. Применение данного сырья стало возможным, когда были разработаны и внедрены промышленные способы прямого восстановления железа.

Металлизированное сырье (окатыши) как шихтовой материал для плавки стали в электродуговых печах обладает определенными преимуществами. Их химический состав известен и однороден: отсутствуют нежелательные примеси, окатыши обычно содержат 2–8% пустой породы, остальное количество составляет железо и его оксиды (приблизительно 3 – 12%). Степень металлизации окатышей ($Fe_{мет}/Fe_{общ}$) варьируется в пределах 0,9 – 0,97%. С ростом степени металлизации на 1% обычно наблюдается снижение удельного расхода электроэнергии в дуговой печи на 2,5 – 5 кВт·ч/т стали. Общее содержание примесей цветных металлов приблизительно в 10 – 15 раз меньше, чем в металлломе, кроме того, металлизированное сы-

рье имеет достаточно низкое содержание таких вредных примесей, как сера (0,005 – 0,025%) и фосфор (0,011 – 0,035%). Это дает возможность использовать металлизированное сырье для получения стали высокого качества при относительно высокой его доле в шихте. Также возможен вариант получения стали обычного качества при использовании вместе с окатышами дешевого скрапа невысокого качества для снижения стоимости конечного продукта.

Плавление металлизированного сырья в дуговых сталеплавильных печах, особенно при его непрерывной загрузке, происходит при более устойчивом горении дуг, полезная мощность увеличивается на 10 – 14%, в то время как неравномерное размещение лома в печи вызывает большие колебания мощности при плавлении, непрерывные изменения длины дуги, что обуславливает увеличение электрического сопротивления печной установки и снижение эффективной мощности.

В то же время, пустая порода (SiO_2) в металлизированном сырье способствует увеличению расхода энергии на плавку из-за дополнительного расхода извести для обеспечения необходимой основности шлака. Низкая теплопроводность (для единичного окатыша – 2,3 – 2,5 Вт/(м · К), для слоя окатышей – 0,35 – 1,05 Вт/(м · К)) затрудняет процесс нагрева и плавления в ванне дуговой печи и усложняет технологию плавки стали [1]. Вследствие развитой удельной поверхности металлизированные окатыши имеют большую склонность к окислению при хранении и перегрузках, особенно в условиях высокой атмосферной влажности, а также, в отличие от лома, быстро окисляются при повышенных температурах, что может привести к увеличению степени окисления железа окатышей во время плавления шихты. Для уменьшения развития этого процесса увеличивают содержание углерода в окатышах и уменьшают продолжительность нагрева и плавления.

На производительность дуговой сталеплавильной печи при работе на металлизированном сырье влияет не только его количество в шихте, но и способ загрузки, который может быть порционным или непрерывным. Максимальное увеличение производительности печи наблюдается при 20 – 50% содержании металлизированного сырья в шихте при использовании непрерывной системы подачи в электродуговую печь. В процессе производства легированной высококачественной стали оптимальным с технологической точки зрения явля-

ется подача металлизированных окатышей в составе шихты в количестве 50 – 70%.

При установленном соотношении количества металлолома и окатышей в шихте технологический процесс ведения плавки выгоднее начинать на ломе. В этой связи первоначально в печь обычно за один прием загружается весь лом, после его частичного расплавления загружается металлизированное сырье. Попытки подавать его в печь корзинами порциями по 30 – 40% от массы всей шихты приводят к резкому снижению показателей плавки [3], поскольку вследствие малой теплопроводности слоя окатышей нагрев протекает медленно, часть их спекается с образованием крупных конгломератов, соответственно период плавления увеличивается, что приводит к снижению стойкости футеровки печи. По этой причине наиболее целесообразной и используемой технологией является плавка с непрерывной загрузкой металлизированных окатышей, плавлением их на жидкой ванне с совмещением управляемого окислительного рафинирования расплава. Это способствует сокращению продолжительности плавления вследствие ускорения процессов теплопередачи к плавящемуся окатышу.

Количество углерода в металлизированных окатышах в большинстве случаев недостаточно для восстановления оксидов железа, поэтому целесообразно дополнительное введение в печь углерода с чугуном или коксом. Количество кокса для науглероживания, загружаемого на подину после присадки извести или после проплавления колодцев электрическими дугами, следует рассчитывать исходя из требуемого содержания углерода при расплавлении, количества углерода в ломе и окатышах. Загрузка металлизированного сырья начинается после проплавления колодцев в ломе и образования ванны жидкого металла на подине. Непрерывная подача осуществляется, как правило, через отверстия в своде или в стене печи, причем чем раньше начинается завалка окатышей, тем большее время высвобождается для работы с длинными дугами, так как на откосах или у стен печи сохраняется нерасплавленный лом, защищающий футеровку от излишнего теплового облучения [4].

Важнейшая характеристика электроплавки металлизированных окатышей в ванне дуговой печи – создание условий по максимально возможному энергосбережению в ванне путем заглупления электрических дуг в объеме вспененного шлака по ходу процесса и оп-

тимизации хода процесса плавления при загрузке окатышей в печь [5]. Для уменьшения длительности периода плавления и улучшения его показателей большое значение имеет правильный выбор скорости окисления углерода расплава, влияющий на скорость плавления окатышей. Кроме того, на скорость плавления при непрерывной подаче металлizedанного сырья в ванну дуговой сталеплавильной печи оказывает влияние температура металла ванны, которая определяется мощностью электрических дуг и уровнем их положения во вспененном шлаке, распределением теплового излучения в зоне соприкосновения дуги с металлом, у поверхности стен и свода, что требует решения задачи определения результирующего теплового потока на поверхность металла. Максимальная скорость подачи металлizedанного сырья в жидкую ванну может быть установлена по изменению температуры металла во времени. При неизменной активной мощности температура металла должна сохраняться на одном уровне (1540 – 1570°C). Расход теплоты на плавление и довосстановление окатышей компенсируется энергией дуг, усваиваемой жидкой ванной. Поэтому предельная скорость подачи выражается в кг/мин на 1 МВт активной мощности (кг/(МВт·мин)). Оптимальная скорость непрерывной загрузки окатышей при степени металлizationи 90% должна составлять на уровне 33 кг/(МВт·мин) [6].

Интенсивность окисления углерода и кипение ванны регулируют добавками окислителей (окисление окатышей и газообразный кислород) или науглероживателя. Температура ванны во время плавления окатышей остается сравнительно невысокой, так как в ванне постоянно находится большое количество нерасплавившихся окатышей. Содержание оксидов железа в шлаке периода плавления определяется содержанием углерода в окатышах: при содержании углерода 0,2 – 0,4% содержание оксидов железа в шлаке обычно составляет 12 – 18%, при меньшем содержании углерода оксидов железа в шлаке – больше и наоборот. Типичный состав шлака периода плавления при работе на металлizedанных окатышах следующий, %: FeO – 10 – 25; MgO – 8–20; SiO₂ – 10–25; CaO – 35–40; Al₂O₃ – 5–10. При малой скорости окисления вследствие слабого перемешивания ванны снижается интенсивность теплопередачи в ванне и уменьшается скорость плавления окатышей. При увеличении скорости окисления углерода больше определенной величины наблю-

дается интенсивное газовыделение, процесс окисления становится неуправляемым и приходится уменьшать скорость завалки окатышей в печь. Для крупных печей оптимальной считается скорость окисления углерода 30 – 35 кг/ч на 1 м² площади зеркала ванны.

Высокая окисленность и достаточная основность шлака периода плавления, сравнительно невысокая температура металла, интенсивное перемешивание расплава пузырями оксида углерода, увеличение вследствие этого поверхности контакта металл–шлак и скорости массопереноса в шлаке и металле, постоянное частичное обновление шлака способствуют быстрой и достаточно глубокой дефосфорации металла. По опыту работы дуговых сталеплавильных печей для низкого содержания фосфора достаточно получить высокую основность шлака незадолго до выпуска, т.е. когда проплавится 60 – 80% окатышей. Необязательно поддерживать эту основность в течение всего периода плавления. При этом для более глубокой дефосфорации необходимо полное обновление шлака к концу периода плавления, он должен быть жидкоподвижным и равномерно удаляться по мере расплавления окатышей, что порой достигается присадкой плавикового шпата. Раннее удаление большого количества шлака нарушает и замедляет равномерное плавление окатышей и может привести к увеличению тепловой нагрузки на стены печи вследствие уменьшения степени экранирования дуг шлаком. Иногда для более полного удаления шлака периода плавления в печь присаживают плавиковый шпат.

Устранение подвалок шихты благодаря возможности непрерывной загрузки окатышей, совмещения плавления окатышей с окислением углерода и других примесей уменьшают общую длительность плавки. Тем не менее, вследствие упоминавшихся ранее ухудшения условий теплопередачи и необходимости проплавления пустой породы при работе на металлизированном сырье наблюдается увеличение расхода электроэнергии. Существенно понизить его возможно загрузкой в печь горячих металлизированных окатышей.

Влияние металлизированного сырья на свойства стали проявляется по-разному. Улучшаются показатели пластичности вследствие снижения содержания примесей цветных металлов, фосфора и серы, то есть повышается относительное удлинение, ударная вязкость, усталостная прочность, обрабатываемость, свариваемость стали. Технология плавки при использовании металлизированных

окатышей (длительное интенсивное кипение ванны под толстым слоем окисленного шлака невысокой основности, имеющего малую газопроницаемость) и низкое содержание азота в окатышах позволяет получать сталь с очень низким содержанием газов, особенно азота. Содержание азота находится в прямой зависимости от доли металлизированных окатышей в объеме печи. Длительное интенсивное перемешивание ванны в результате ее окисления дает возможность получать к концу плавки сталь, практически чистую по неметаллическим включениям. При этом большое влияние имеет выбор рациональной схемы окончательного рафинирования расплава (раскисление и внепечная обработка).

Поскольку стоимость металлизированного сырья в 2 – 2,5 раза выше стоимости лома, большое значение имеет выбор относительного соотношения количества окатышей и лома в шихте. При малом количестве окатышей не удастся получить необходимую степень повышения качества металла, в то время как при слишком большом их содержании в шихте несколько замедляется процесс плавления и повышается расход электроэнергии. Поэтому рациональное использование окатышей особо важно, когда требуется улучшить качество металла или требуется получить сталь со специальными свойствами.

Особенно важно осуществлять выплавку с использованием металлизированного сырья для получения высококачественной стали с жесткими требованиями по содержанию серы и азота [6], а именно, для выплавки следующих групп сталей:

- конструкционных сталей с гарантированной прокаливаемостью, размером зерна, низкой загрязненностью по включениям, высокой пластичностью, пониженной склонностью к хрупкому разрушению;

- подшипниковых сталей;

- котельных сталей с высокой жаропрочностью и низкой загрязненностью по включениям;

- сталей для высокопрочных метизов и для сварочной проволоки со стабильно низким содержанием азота;

- пружинно-рессорных сталей с повышенным пределом усталости и пониженной склонностью к хрупкому разрушению.

Таким образом, выплавка стали из металлизированных окатышей является перспективным процессом для получения высококачественных сталей, при этом одним из путей уменьшения стоимости яв-

ляется снижение удельного расхода энергии на тонну при сохранении производительности. То есть необходимо увеличить полезную мощность печи, сохранив или уменьшив время плавки и снизив удельный расход электроэнергии. Для снижения удельного расхода электроэнергии имеется несколько путей:

– оптимизация расплавления лома до начала подачи окатышей в печь с целью снижения общего времени плавки и оптимизации расхода электроэнергии;

– повышение КПД дуги за счет оптимальной скорости подачи окатышей.

Литература

1. **Морозов, А. Н.** Современное производство стали в дуговых печах / А. Н. Морозов. – М.: Металлургия, 1987. – 174 с.

2. **Кайбичева, М. Н.** Футеровка электропечей / М. Н. Кайбичева. – М.: Металлургия, 1975. – 280 с.

3. **Трахимович, В. И.** Использование железа прямого восстановления для выплавки стали / В. И. Трахимович, А. Г. Шалилов – М.: Металлургия, 1992. – 248 с.

4. **Поволоцкий, Д. Я.** Выплавка легированной стали в дуговых печах / Д. Я. Поволоцкий, Ю. А. Гудим. – М.: Металлургия, 1987. – 136 с.

5. **Макаров, А. Н.** Энергосбережение при выплавке стали в машиностроительных и металлургических производствах / А. Н. Макаров [и др.] // Энергосбережение в промышленности: сб. тр. – Тверь: ТГТУ, 1999. – С. 4–7.

6. **Затаковой, Ю. А.** Совершенствование работы дуговых сталеплавильных печей, использующих в шихте металлизированные окатыши / Ю. А. Затаковой, Н. К. Анисимов // Сталь. – 2000. – №7. – С. 24–28.