

Выпуск металла из дуговых сталеплавильных печей при выплавке легированных марок стали осуществляется при содержании углерода менее 0,12 %. Перед выпуском плавки на дно стальной ковша присаживается науглераживатель (коксовая мелочь или науглераживатель типа «С») в количестве от 60 до 150 кг. Подача алюминия производится под струю, после наполнения ковша 35–40 тоннами металла, в количестве 12–28 кг. Выпуск металла из дуговой печи производится с температурой 1600 – 1660 °С, при которой достигается наибольший эффект раскисления. В процессе выпуска и после наполнения 1/3 ковша металлом присаживают порцию шлакообразующих, раскисляющих и легирующих материалов. В конечном итоге активность кислорода в стали 40Х перед разливкой составит  $a[O] = 15 - 20$  ppm.

Применение предварительного раскисления коксом способствует снижению угара раскислителей и легирующих добавок. Так, если угар марганца при обычной технологии достигает 30 %, а угар кремния – 32 %, то при предварительном раскислении коксом эта величина снизится до 20 – 22 % для марганца и до 14 – 20 % для кремния. Кроме этого, предварительное углеродное раскисление стали обеспечивает выравнивание окисленности металла по всему объему, уменьшение окисленности металла и шлака, снижение угара раскислителей и количества неметаллических включений в стали, и, как следствие, повышение пластичности. В результате применения данной технологии содержание оксидных включений снижается с 3,5 – 5 до 1,5 – 2 баллов, одновременно со снижением количества неметаллических включений (до 30%) наблюдается уменьшение содержания в стали газов.

УДК 669

### **Оптимизация состава шихты для качественных марок стали, выплавляемых в дуговых сталеплавильных печах**

Магистрант Ведыбеда Д.В.  
Научный руководитель Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время основным сырьём для производства стали на БМЗ является металлолом, около 70–80 % которого закупается в России, а остальное составляет внутренний металлолом Республики Беларусь и возврат собственного производства. Металлолом железнодорожным транспортом поступает в копровый цех БМЗ, где осуществляется его разгрузка, сортировка и загрузка в завалочные корзины магнитно-грейферными кранами мостового типа. Для переработки крупногабаритного лома используют гидравлические пресс-ножницы и посты газовой резки. Переработанный лом отгружают в корзины, которые подвозятся на весовые станды, а затем после загрузки транспортируется в электросталеплавильные цеха. Закупочные цены на металлолом и другие шихтовые материалы растут, что ведёт к увеличению себестоимости выпускаемой продукции, и как итог, увеличению её цены, что является негативным фактором для реализации продукции. В связи с изложенным возникает необходимость подбора оптимальной шихтовки для качественных марок сталей, чтобы снизить количество незаказных плавков и уменьшить стоимость шихты, из которой данные марки сталей производятся.

В результате выполнения работы проведен всесторонний анализ существующих видов шихтовых материалов на примере производства качественной марки стали Fe360-1 в условиях РУП «БМЗ». Разработана модель в интегрированной среде MS Excel, включающая расчёты материального и теплового балансов.

На первом этапе обработаны 9 плавков с характерными шихтовками, причем химический состав материалов был взят либо усреднённым, либо с явно завышенными показателями, что позволило определить степень риска использования того или иного вида шихты для плавки данной марки стали.

Также учтены ферросплавы, используемые в производстве на РУП «БМЗ», расходы по кислороду и природному газу для ДСП-3, химический состав извести и иных добавочных материалов, расход электроэнергии и другие показатели для выбранной марки стали, чтобы как можно максимально приблизить результаты расчёта к производственным показателям.

При определении оптимальной шихтовки для данной марки стали принимался во внимание комплекс как экономических, так и технологических показателей: расход электроэнергии, расход природного газа и технического кислорода, количество образующегося шлака и отходящих печных газов, количество затраченной извести и ферросплавов, стоимость шихты, теплонагрузка на сталеплавильный агрегат, суточная производительность печи. В итоге выполнения работ составлена сводная стоимость всех затрат для выплавки по каждому варианту шихтовки.

На последующем этапе с использованием методов теории оптимального управления предполагается выбор оптимального состава металлошихты по комплексному показателю, который обеспечивает минимальные затраты при требуемом качестве стали.

Необходимо отметить, что разработанная модель может быть использована для оптимизации шихтовки при выплавке стали в дуговых сталеплавильных агрегатах любой емкости с целью совершенствования технологии выплавки в условиях действующего производства, а также в учебном процессе.

УДК 669

### Влияние технологии нагрева металла в газопламенных печах на окалинообразование

Магистрант Юрчак А.Н.

Научный руководитель – Корнеев С.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Окисление металла в печи во многом определяет стоимость операции нагрева, поэтому разработка режимов нагрева металла с минимальным окалинообразованием является одной из наиболее актуальных задач поиска экономичных режимов тепловой обработки слитков и заготовок в металлургическом и машиностроительном производствах.

В общем случае угар металла пропорционален постоянной окалинообразования, зависящей от марки стали, химического состава атмосферы печи и температуры, а также квадратному корню из времени нагрева.

Помимо количественных характеристик окалины необходимо отметить такие ее свойства как прочность связи с металлом. При избытке топлива окалины образуется меньше, но она более плотная и характеризуется большей силой сцепления с металлом. При избытке воздуха окалина характеризуется более толстым слоем, который имеет малую связь с подложкой и вследствие разрыхления легко отделяется от металла. Следует отметить, что в сталях содержащих никель, окалина более плотная.

Результаты испытаний на растяжение образцов, нагретых в печи, отапливаемой природным газом, показали, что усилие отрыва окалины от образца на легированной стали (15..33 кг) в два раза больше чем на углеродистой стали (8..18) [1].

При малоокислительном нагреве стали в печах наиболее часто используются режимы нагрева, в которых защитная среда образуется за счет сжигания газа с недостатком воздуха.

Влияние коэффициента избытка воздуха на окалинообразование при сжигании природного газа было исследовано в работе [2]. Для исследований выбраны три марки стали: углеродистая - Ст3 с легко отделяющейся окалиной и хромоникельмедистые - 10ХН2МД и 10ХН4МД с «прилипающей» окалиной. Режим нагрева заключался в посадке образцов в печь с температурой 600..700 °С, нагреве их до температуры 1200 °С и выдержке при этой температуре в течение 6 часов с дальнейшим охлаждением на воздухе.

В ходе исследований была оценена глубина окисления металла по высоте неокисленной площадки над свободно окисляемой поверхностью. Анализ результатов показал, что при  $\alpha = 1,25$  наблюдается максимум окисления для хромоникелевой стали. Для углеродистой стали максимальное окисление (угар) наблюдается при  $\alpha = 1,05$ , а при  $\alpha = 1,25$  и  $\alpha = 1,45$  оно уменьшается.

Результаты исследований по влиянию коэффициента избытка воздуха на прочность сцепления окалины с металлом, находящимся при высокой температуре, показывают следующее:

- на углеродистой стали окалина не сохраняется при любых значениях  $\alpha$ ;
- при  $\alpha = 1,45$  толщина сохранившейся окалины минимальна для хромоникельмедистой стали (0,05 мм), тогда как при  $\alpha = 1,05$  она максимальна (2мм);
- толщина сохранившейся окалины на стали 10ХН2МД при  $\alpha = 1,45$  для условий нагрева в газопламенной печи меньше чем в электрической печи, а при малых значениях  $\alpha$  (1,05; 1,25) больше, чем в электрической печи.

Повышение коэффициента избытка воздуха более 1,45 приводит к дальнейшему уменьшению окалинообразования, о чем свидетельствуют данные, приведенные в работе [3]. По результатам исследований угара для стали 10 при коэффициентах избытка воздуха в диапазоне от 0,6 до 4,5, а также в воздушной среде можно сделать однозначный вывод, что достигнуть снижения угара можно как уменьшая коэффициент избытка воздуха, так и увеличивая его по отношению к стехиометрическому соотношению.

С технологической точки зрения данные исследования особенно важны, поскольку часто считается, что герметизация рабочего пространства должна приводить к снижению окалинообразования. Опыт эксплуатации высокотемпературных печей, построенных в последнее время и имеющих возможность изолировать поступление дополнительного воздуха в печь, показывает, что угар при этом во многих случаях не уменьшается. Связано это с тем, что продуктами сгорания природного газа при  $\alpha = 1$  являются  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , каждый из которых при высоких температурах является более сильным окислителем, чем воздух, состоящий из кислорода и азота. По данным [4] окислительная способность водяного пара почти такая же, как и свободного кислорода и в 2,0...2,5 раза выше окислительной способности диоксида углерода. Содержание 0,1...0,2 %  $\text{SO}_2$  почти в два раза увеличивает количество образующейся окалины.