

Имеется два основных типа вертикальных шахтных печей – одношахтные печи с противоточным нагревом и многошахтные печи с параллельнопоточным нагревом.

В зависимости от вида применяемого топлива и способа его сжигания различают шахтные печи, работающие:

– на короткопламенном твёрдом топливе, вводимом обычно в печь вместе с обжигаемым материалом; т.к. известняк и кусковое топливо при этом загружают в шахту перемежающимися слоями, то иногда такой способ обжига называют пересыпным, а сами печи – пересыпными;

– на любом твёрдом топливе, газифицируемом или сжигаемом в выносных потоках, размещаемых непосредственно у печи;

– на жидком топливе;

– на газовом топливе, естественном или искусственном.

Противоточное движение обжигаемого материала и горячих газов в шахтной печи позволяет достаточно полно использовать теплоту отходящих газов на прогрев сырья, а теплоту обожженного материала – на подогрев воздуха, идущего в зону обжига. Поэтому для шахтных печей характерен низкий расход топлива. Расход условного топлива в этих печах составляет примерно 13-16% массы обожженной извести или 3800 - 4700 кДж на 1 кг.

Анализ преимуществ и недостатков различных конструкций печей для обжига извести позволил сделать вывод, что в условиях БМЗ целесообразно эксплуатировать печи шахтного типа из-за низкого расхода топлива, либо использовать сочетание шахтной и вращающейся печей. При этом мелкокусковой фракционированный известняк необходимо обжигать на 80% в шахте с применением кокса и окончательно - во вращающейся печи. Суточная производительность подобной установки может составлять 400 - 500т.

УДК 669

#### **Применение метода двухстадийного углеродного раскисления легированных сталей с целью управления составом и количеством неметаллических включений**

Студент гр. 304124 Гольшев В.В.  
Научный руководитель – Румянцева Г.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г.Минск

Одной из основных проблем при производстве стали является выбор оптимальной технологии внепечной обработки с целью минимизации загрязненности стали неметаллическими включениями, а также исключения дефектов макроструктуры заготовок.

Оксидные неметаллические включения в среднеуглеродистых легированных марках стали по своей природе условно можно разделить на два основных типа:

- шлаковые включения, близкие по своему составу к печному шлаку  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;
- продукты реакций раскисления  $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO-MnO-SiO}_2$ .

Хорошо деформируемые при температурах горячей прокатки включения оказывают наименее вредное воздействие на свойства стали, что связано с их пластичностью при температурах деформации металла и более прочной связью с металлической матрицей. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  во включениях в значительной мере определяет склонность включений к деформации и не должно превышать 15 – 20 %. Это хорошо согласуется с областями тройных легкоплавких эвтектик на шлаковых диаграммах состояния  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3$ . Составы деформируемых включений, отличающихся невысокими температурами плавления, лежат вблизи области эвтектики между анортитом и псевдоволластонитом на диаграмме  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ , спессартитом для диаграммы  $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3$ , и волластонитом на диаграмме  $\text{CaO-MnO-SiO}_2$ . Согласно тройным диаграммам данные неметаллические включения имеют различную температуру плавления - от 1380 до 2050 °С. Включения данного состава при нагреве металла в методической печи не расплавляются, а в результате прокатки заготовки подвергаются разрушению и вытягиваются в направлении проката. Такие включения представляют большую опасность, так как они служат местом концентрации напряжений и способствуют разрушению изделий.

С целью управления составом и количеством неметаллических включений эндогенного характера предложена технология предварительного двухстадийного углеродного раскисления металла на выпуске применительно к легированным сталям. Данный метод раскисления сводит до минимума количество включений, являющихся продуктами раскисления данной стали. Принцип данной технологии заключается в проведении процесса раскисления стали на выпуске с использованием в первую очередь углеродосодержащих материалов.

Выпуск металла из дуговых сталеплавильных печей при выплавке легированных марок стали осуществляется при содержании углерода менее 0,12 %. Перед выпуском плавки на дно сталковша 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  $a[O] = 15 - 20 \text{ ppm}$ .

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.