

УДК 621.74.011

В.Л. ТРИБУШЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
Л.В. ТРИБУШЕВСКИЙ,
Б.М. НЕМЕНЕНОК, д-р техн. наук,
Г.А. РУМЯНЦЕВА, канд. техн. наук (БНТУ)

ОСОБЕННОСТИ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ АЛЮМИНИЕМ

Окислительные условия ведения плавки в сталеплавильных агрегатах являются причиной повышенной активности кислорода в стали к моменту ее выпуска из плавильной печи. Для снижения активности кислорода в стали до необходимых пределов проводят ее раскисление углеродом, кремнием, марганцем, алюминием, сплавами РЗМ (церия, лантана и др.) и щелочноземельных металлов.

Раскисляющая способность элемента, вводимого в сталь, изменяется содержанием растворенного кислорода, остающегося в равновесии с оставшимися в жидкой стали молекулами элемента-раскислителя и образовавшимися продуктами раскисления.

Первой задачей раскисления является снижение содержания растворенного в стали кислорода и связывания его в прочные соединения, не дающие газообразных выделений при затвердевании металла. В случае получения спокойно затвердевающих сталей содержание растворенного кислорода должно быть как можно меньше; при получении сталей кипящих марок содержание кислорода должно быть снижено до заданной величины, обеспечивающей нормальное кипение стали в изложницах.

Другой задачей раскисления является максимальное удаление из жидкой стали образующихся продуктов раскисления – неметаллических включений. В сталелитейном производстве конечное раскисление стали осуществляют в основном алюминием, который имеет высокую раскислительную способность.

При конечном раскислении стали алюминием в количестве 1,5–3 кг/т в жидкой стали в качестве первичных продуктов реакций раскисления образуются тугоплавкие высокоглиноземистые окси-

ды. Вследствие локальных перегревов расплавов на участках взаимодействия присаживаемого в ковш в больших количествах алюминия с растворенным в металле кислородом, эти частицы выделяются в начальный момент в жидком виде и при перемешивании легко сталкиваются друг с другом, коалесцируют и укрупняются. Кроме того, частицы обладают высоким межфазным натяжением и плохо смачиваются металлом. Поэтому они всплывают из металла и поглощаются шлаком с высокими скоростями, вследствие чего содержание кислорода в ковше достигает минимального уровня к концу выпуска из печи.

При введении алюминия в железо, содержащее кислород, может образовываться либо чистый глинозем (при большом содержании оксида алюминия), либо $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (герцит), температура плавления которого составляет 2050 °С. Образование в стали при раскислении алюминием мелких включений глинозема и нитрида алюминия влияет на протекание процесса кристаллизации, в частности, на размер зерна: чем больше введено алюминия, тем мельче зерно. Введенный в металл алюминий взаимодействует с серой (при большом расходе алюминия) и азотом. Образование в процессе кристаллизации нитрида алюминия способствует снижению вредного влияния азота и уменьшению эффекта старения стали.

При различных остаточных концентрациях в стали алюминий может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на ее свойства. При низких концентрациях алюминия сталь получается недораскисленная, что приводит при литье в песчано-глинистые формы к появлению в отливках из сталей 35Л и 30ГСЛ газовых раковин, рыхлот, пористости, трещин и негерметичностей. Высокое остаточное содержание алюминия в стали снижает ее жидкотекучесть и затрудняет разливку, так как на струе образуется твердая пленка и даже корочка вследствие вторичного окисления. Попадание ее в тело отливки приводит к браку по включениям и негерметичности. Поэтому важно обеспечить стабильность процесса раскисления, высокую степень усвоения алюминия и оптимальное его содержание в стали.

Раскисление стали металлическим алюминием сопровождается его высоким угаром и нестабильностью усвоения. Это обусловлено низкой плотностью алюминия (2700 кг/м^3), которая более чем в два раза ниже плотности жидкой стали и ниже плотности шлака. Это

затрудняет прогнозирование и стабильное получение остаточного содержания алюминия в стали в наиболее оптимальном интервале 0,03–0,04 %.

В настоящее время для повышения степени усвоения алюминия в промышленности применяют различные методы: утяжеление алюминия балластным грузом; принудительное погружение – ввод на штанге или путем прикрепления к стопору ковша; введение в расплав в виде би- и триметаллических заготовок; использование ферроалюминиевого сплава или литого железоалюминиевого композита.

Наиболее часто для раскисления стали используют вторичный алюминий. Существуют три типа синтетических сплавов вторичного алюминия – плакированные, компактированные и литые. Плакированные сплавы типа КРА-30 содержат алюминиевый сердечник и металлическую (стальную, чугунную) оболочку, что позволяет предохранять от вторичного окисления алюминия шлаками и атмосферным кислородом и увеличить плотность сплава для более глубокого погружения его в жидкую сталь. Компактированные сплавы получают путем присадок твердых наполнителей в жидкий алюминий непосредственно в литейную форму – мульту. В качестве наполнителей используют дробленые материалы – отходы металла и алюминиевого лома при разливке жидкого металла по литейным формам заданного типоразмера получают монолитные сплавы определенного состава. Технология производства литых сплавов наиболее рациональная, так как исключает многостадийность технологических операций плакированных и компактированных сплавов.

Минимальный угар алюминия обеспечивается также при вводе его в расплав в виде проволоки. Разработанные составы литых железоалюминиевых композитов, полученных с использованием стальной или чугунной дроби в качестве армирующего компонента, обеспечивают приемлемое сочетание противоречивых требований по остаточному содержанию алюминия, плотности отливок и заполняемости литейной формы. Однако при этом возникают трудности с дозированием раскислителя, а при его вводе в ковш требуется также перегрев расплава стали.

При обработке жидкого металла в сталковше чушковым алюминием последний расходуется по трем основным статьям: на окисление атмосферным кислородом 20–25 %, на окисление по-

кровным шлаком 55–60 % и, собственно, на раскисление металла остается не более 20 %. Применение погружных слитков повышает степень усвоения алюминия в металле, но снижает степень десульфурации до 10–20 % за счет повышенной окисленности ковшевого шлака. Технология двухстадийного раскисления стали, включающая присадку чушкового алюминия при выпуске металла (30–50 % от расчетного количества и остальное – слитком после выпуска, позволяет сократить удельный расход алюминия на 0,4 кг/т и повысить степень десульфурации до 35–55 %. Замена чушкового алюминия на ферроалюминий марки ФА-30 или РА-30 позволяет сократить расход алюминия до 1,5–1,7 кг/т при той же степени десульфурации до 50 %.

За рубежом используются способы ввода алюминия при выпуске стали в ковш, заключающиеся в выстреливании алюминия в виде пуль – технология ABC (Alluminium Bullet Shooting) и технология ASIS, предусматривающая вдувание алюминиевой дроби в струю металла с использованием инжекционной установки. При этом литую алюминиевую дробь диаметром 1,6–6 мм получают при сливе расплава через сито-дозатор в воду. Применение литой алюминиевой дроби позволяет существенно повысить реакционную поверхность раскислителя, так как данный показатель для алюминиевых гранул составляет 1,6–1,8 м²/кг, а для чушки – 0,02 м²/кг.

Однако такая технология получения алюминиевой дроби требует ее обязательной сушки и существует опасность насыщения расплава водородом. Кроме того, при температуре сушки гранул более 200 °С происходит интенсивное окисление влажных гранул. Развитая поверхность гранул из-за их малого размера, способствует также загрязнению расплава оксидными пленками.

На ряде предприятий для раскисления стали используют вторичный гранулированный алюминий, который является продуктом механической переработки алюминиевого лома – отходов штамповочного производства, упаковочных и укупорочных материалов для жидких и сухих продуктов питания. В процессе переработки такого лома на специализированном оборудовании проводится измельчение и накатывания материала, в результате чего получают гранулы сферической формы диаметром 0,2–5 мм. За счет наличия пустот, полученных при укатывании, а также малого диаметра частиц, удельная поверхность гранулы существенно выше аналогичного

показателя чушкового алюминия. Однако, гранулы, полученные по такой технологии, имеют меньшую плотность, чем литые, и отличаются повышенной окисленностью.

Сотрудниками НИЛ ПТПП и РТ БНТУ были проведены исследования по производству алюминиевых гранул по «сухой» технологии. Для исследований использовали установку, состоящую из вращающегося круглого водоохлаждаемого стола, чугунного металлоприемника для жидкого алюминиевого сплава, ударного механизма для образования капель металла и системы удаления полученных гранул со стола. Расплав алюминия подавали в металлоприемник, в нижней части которого находились специальные отверстия для вытекания жидкого металла. Образование капель, то есть обрыв струи расплава происходил за счет ударного механизма. В зависимости от интенсивности его работы изменяли размеры получаемых гранул в диапазоне 5–10 мм. Гранулы из капель расплава формировались на поверхности вращаемого водоохлаждаемого стола, а удаление готовых гранул производили направленным потоком сжатого воздуха.

Для выбора оптимальной технологии раскисления алюминием проводили исследования на стали 35Л, выплавленной в электродуговой печи с кислой футеровкой. Металлозавалка состояла из стального лома, возврата собственного производства и чугунного лома. По мере расплавления металлозавалки наводили шлак из сухого кварцевого песка и известняка. Для удаления избыточного углерода в расплав периодически загружали небольшими порциями железную руду. При достижении заданного содержания углерода в расплаве и его нагрева до необходимой температуры проводили химический анализ металла и шлака, а предварительно раскисляли металл в печи присадками ферромарганца и ферросилиция. Окончательно жидкую сталь раскисляли в разливочных ковшах алюминием из расчета 0,75 кг/т стали, который вводили по следующим вариантам:

1. В виде слитка под струю металла при сливе стали в ковш;
2. Слиток алюминия погружали на стальной штанге в расплав после заполнения ковша;
3. Алюминиевые гранулы, полученные по «сухой» технологии, подавали на струю стали при заполнении ковша.

Использование первого варианта раскисления обеспечило большой разброс по остаточному содержанию алюминия в стали от

0,004 до 0,057 %. При этом более половины плавок имело остаточное содержание алюминия ниже 0,03 %.

Продолжительность плавления стандартной чушки вторичного алюминия толщиной 65 мм при раскислении низкоуглеродистого металла с температурой 1580–1600 °С в случае попадания в застойные зоны металла в ковше достигает 110–160 с. Плавление чушки в зоне воздействия струи металла происходит в 40–50 раз быстрее (2–4 с). Однако обеспечить ввод чушек в зону воздействия струи, как показала практика, во всех случаях невозможно. Поэтому для данного способа ввода алюминия характерен низкий и нестабильный уровень усвоения алюминия жидким металлом.

При реализации второго способа ввода алюминия количество плавок, содержащих менее 0,03 % алюминия, снизилось до 25 %, а доля плавок с оптимальной концентрацией алюминия составила 68 %. Раскисление стали гранулами обеспечило оптимальную остаточную концентрацию алюминия у 85 % плавок. Наличие большой удельной поверхности приводит к ускорению реакции взаимодействия алюминия с активным кислородом расплава, при этом задержки, связанные с длительностью расплавления и потери при контакте с атмосферой сводятся к минимуму.

Такая технология ввода алюминия для раскисления стали обеспечила наиболее стабильное остаточное содержание алюминия как от плавки к плавке, так и по объему стали в ковше.

УДК 621.311

С.М. КАБИШОВ, канд. техн. наук,
И.А. ТРУСОВА, д-р техн. наук,
П.Э. РАТНИКОВ, канд. техн. наук,
Д.В. МЕНДЕЛЕВ, канд. техн. наук,
Г.А. РУМЯНЦЕВА, канд. техн. наук (БНТУ)

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБОГАЩЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ДУТЬЯ КИСЛОРОДОМ В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

В работах [1–4] приведены результаты расчетов экономии топлива при обогащении воздуха горения кислородом в промышлен-