

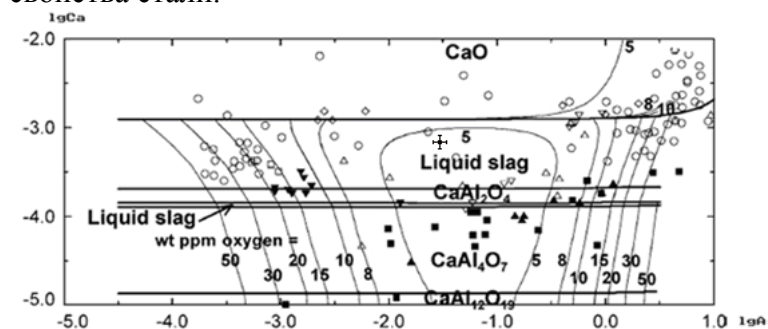
УДК:669.14.046.556.6:[669.71+669.891]

А.А.Мясников (5 курс, каф. СиС), А.А.Казаков, д.т.н., проф., П.В.Ковалев, асп.

## ОСОБЕННОСТИ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ АЛЮМИНИЕМ И КАЛЬЦИЕМ

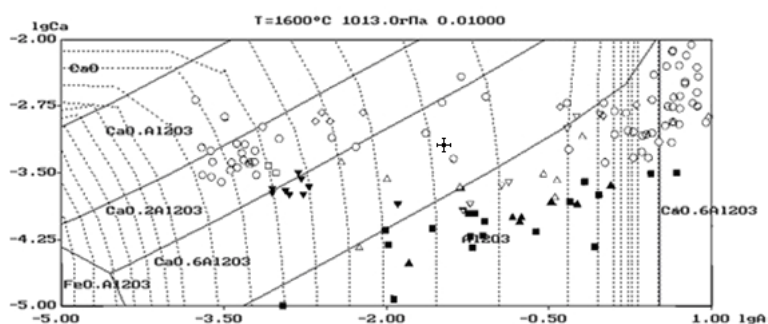
Как известно, кислород является вредной примесью в стали, и поэтому, для того чтобы минимизировать его содержание в металле, необходимо осуществлять процессы раскисления путем ввода в сталеплавильную ванну элементов-раскислителей, обладающих большим сродством к кислороду по сравнению с железом. Одним из наиболее сильных элементов-раскислителей является алюминий, который достаточно широко используется в сталеплавильной практике. При очень низких концентрациях алюминия в стали  $[Al] < 5 \cdot 10^{-4}$  возможно образование включений герцинита  $FeO \cdot Al_2O_3$  или раствора оксидов  $Al_2O_3$  и  $FeO$ . При более высоких концентрациях алюминия, что справедливо для большинства сталеплавильных процессов, образуется чистый корунд  $Al_2O_3$ .

Твердые включения  $Al_2O_3$  ухудшают механические свойства стали, а их скопления могут вызвать в процессе разлива металла зарастание на внутренних поверхностях разливочных и промежуточных стаканов. Чтобы снизить негативное влияние этих включений на сталь обычно используют введение в сталь кальция в виде кальцийсодержащих веществ, который модифицирует твердые включения  $Al_2O_3$  в менее вредные жидкие включения  $CaO \cdot Al_2O_3$ , имеющие глобулярную морфологию, легко всплывающие на поверхность расплава и ассимилируемые шлаком. Однако, если содержание кальция недостаточно для образования эквимольного соединения  $CaO \cdot Al_2O_3$ , в стали могут образоваться биалюминат ( $CaO \cdot 2Al_2O_3$ ) или гексаалюминат ( $CaO \cdot 6Al_2O_3$ ) кальция, которые труднее удаляются из расплава и оказывают негативное влияние на свойства стали.

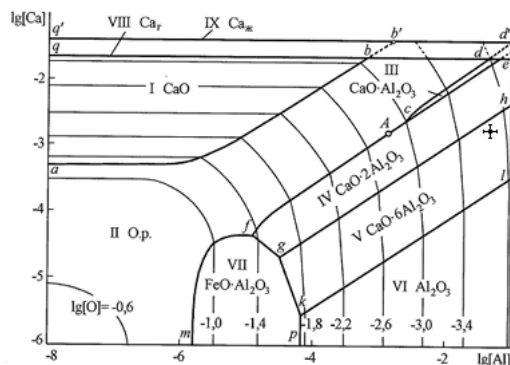


а)

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>CaO/Liquid slag</b>    | <b>Liquid slag/CaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> or CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub></b> |
| ○ Schurmann et al[24]     | ▲ Kimura and Suito[28]  |
| △ Suito et al[25]         | ■ Suito et al[25]   |
| ▽ Kimura and Suito[28]    | ▼ Lee and Suito[27]   |
| ◇ Ichihashi and Ikeda[26] |   |
| □ Lee and Suito[27]       |   |



б)



в)

Рис. 1. Поверхности растворимости компонентов в металле (ПРKM), построенные при 1600°C с использованием теории ассоциированных растворов (а), по теории Вагнера без учета существования шлаковых областей (б) и с учетом существования шлаковых областей (в)

В настоящей работе было проведено сравнение результатов расчетов процесса раскисления стали алюминием и кальцием, полученных с использованием теории Вагнера, а также с использованием теории ассоциированных растворов. Поверхности растворимости компонентов в металле (ПРKM), рассчитанные по методу Вагнера и по теории ассоциированных растворов для одной из конструкционных сталей трубного сортамента, представлены на рис. 1. ПРKM, представленная на рис. 1а существенно отличается от ПРKM, рассчитанных для стали того же состава по методу Вагнера, в которой рассчитанные фазовые границы имеют наклон вправо (рис. 1б, в). Как следует из представленной диаграммы (рис. 1а), линии межфазного равновесия имеют строго выраженный горизонтальный характер и хорошо коррелируют с данными, полученными на основе расчета равновесия в системах жидкий шлак – CaO и жидкий шлак – CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CaO·2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Также необходимо отметить, что при расчетах с использованием теории ассоциированных растворов равновесные продукты раскисления практически не зависят от степени раскисленности – содержания алюминия в металле, а зависят только от содержания кальция. При наблюдаемых в условиях плавки содержаниях алюминия и кальция: Al = 0,05%, Ca = 0,003%, фигуративная точка состава стали, отмеченная на диаграммах крестом, попадает в область существования жидких шлаковых расплавов.

Поверхности растворимости компонентов в металле, построенные для той же системы Fe – Ca – Al – O при 1600°C на основе теории Вагнера, с учетом и без учета существования шлаковых областей (рис. 1б, в)), имеют наклон линий межфазного равновесия вправо. Следует отметить присутствие на этих ПРKM области существования герцинита (FeO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которая отсутствует на диаграммах, рассчитанных на основе ассоциированных растворов. Фигуративная точка состава стали, соответствующая аналогичным концентрациям алюминия и кальция (Al = 0,05%, Ca = 0,003%), находится в области соответствующей гексаалюминатам кальция (CaO·6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) как в случае расчетов, учитывающих существование шлаковых растворов, так и без их учета.

Так как не существует методик для точного определения содержания кальция в металле (он практически нерастворим в металле), его содержание можно лишь оценивать с точки зрения «меньше – больше». Метод Вагнера хорошо описывает качественные тенденции изменения состава неметаллических включений в зависимости от варьирования концентрациями кальция и алюминия, а также последовательность образования и чередования образующихся неметаллических включений, что было подтверждено сравнениями результатов расчета с экспериментальными данными и с результатами, полученными с использованием теории ассоциированных растворов. Таким образом, на основании проведенного анализа, данный метод можно использовать для разработки рекомендаций по раскислению и модифицированию сталей трубного и штрипсового сортамента.