



The function of silicon at out-of-furnace modifying of industrial grey cast iron is shown in the article.

Д. Н. ХУДОКОРМОВ, Д. А. ХУДОКОРМОВ, БНТУ

УДК 621.74:699.13

ЕЩЕ РАЗ О МОДИФИЦИРУЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ КРЕМНИЯ В ЧУГУНЕ

В направлениях развития технологии литейного производства и металлургии особое место принадлежит внепечной обработке расплава. Чаще всего под внепечной обработкой понимают ковшевое и внутриформенное модифицирование и микролегирование. Модифицирование имеет целью повышение механических характеристик, а иногда и изменение в нужную сторону некоторых других, например, физических или эксплуатационных свойств сплава посредством изменения формы, размеров и распределения его структурных составляющих. Химический состав при модифицировании практически не изменяется, поскольку навески модификаторов достаточно невелики. Микролегирование, в сущности, ничем не отличается от легирования, которое изменяет в нужную сторону служебные и механические свойства сплава посредством изменения его химического состава. Если навеска каждого отдельно взятого легирующего компонента примерно меньше 0,1%, легирование называют микролегированием. Однако, на наш взгляд, более точно различить легирование и микролегирование можно, учитывая влияние вводимых элементов на фазовый состав сплава. При микролегировании изменяется не весь фазовый состав, а состав и свойства отдельных фазовых составляющих, например, их микротвердость. Иногда модифицирование может выполнять еще и роль легирования или микролегирования, а иногда процессы модифицирования и микролегирования вообще совмещаются.

По микролегированию и особенно по модифицированию проведено и проводится множество исследований, но до сих пор в силу ряда объективных причин, не разработано всеобъемлющей, законченной, теории этих процессов. К настоящему времени стало очевидным, что единого механизма действия модификаторов на расплав не существует. Совершенно различаются, например, графитизирующее и сфероидизирующее графит

модифицирование чугунов, модифицирование силицидов с целью измельчения в них зерна первичного алюминия, измельчения эвтектических включений кремния, сфероидизации включений первичного кремния.

Практически в любом современном модификаторе или лигатуре содержится не один, а несколько активных элементов, поэтому при оценке воздействия модификаторов или лигатур на расплав приходится учитывать не только отдельное влияние каждого элемента, но и комплексное, которое зачастую осложнено химическим взаимодействием между элементами, содержащимися в расплаве и добавке.

Влияние кремния рассматривается некоторыми современными исследователями только с позиции его взаимодействия с другими элементами, такими, как барий, стронций и т.п. В то же время именно кремний является активным графитизатором, даже более сильным, чем углерод. Несомненно, большую роль в направлении развития данной теории сыграло то, что она возникла и развивается на рубеже XX и XXI века, когда графитизирующие модификаторы на основе ферросилиция, содержащие, помимо кремния, другие элементы, получили наибольшее распространение, практически полностью вытеснив такой классический и ранее распространенный модификатор, как ферросилиций с высоким содержанием кремния, например, ФС75 или ФС90. По силе графитизирующего действия эти модификаторы очень незначительно уступают современным комплексным модификаторам, хотя и не содержат в своем составе присадок бария, стронция, РЗМ и т.п. Следовательно, основное графитизирующее действие оказывает именно кремний. Наглядным примером, показывающим значение кремния для графитизации, являются низкокремнистые чугуны. Известно, что пердеельные чугуны, в которых содержание кремния может составлять 0,8% и менее, кристаллизу-

ются с образованием структурно-свободного цементита даже в массивных чушках, имеющих относительно небольшую поверхность охлаждения. Существует распространенное мнение, что подобная кристаллизация — следствие особых, «врожденных» свойств передельного чугуна, своего рода «наследственность». Не исключая возможность существования «наследственности», заметим, что чугуны с высоким содержанием углерода и низким содержанием кремния, в выплавке которых не использовался ни передельный, ни литейный чушковые чугуны, также склонны к усиленному карбидообразованию. Исследовали чугун, содержащий 3,7–3,9% углерода, 1,5–1,7% кремния, 0,15–0,30% марганца, 0,12–0,16% серы, 0,4–0,6% фосфора, не более 0,06% хрома. Плавку осуществляли в индукционной тигельной печи емкостью 8 т, футерованной смесью кварцита и борной кислоты. При заливке с температурой 1420–1460 °С в сырые песчано-глинистые формы отливки в виде пластин толщиной 12 мм и площадью 120 000 мм² (400х300 мм) на округлых (с литейными радиусами 3 мм) кромках пластин получили «отбел» с глубиной проникновения в тело отливки до 20 мм. Глубина «отбела» по стандартной клиновидной пробе составляла свыше 20 мм. По всему сечению отливки располагались области структурно-свободного цементита и ледебурита, расположенные не только в перлитной, но даже и в ферритной матрице, в которой

включения графита принимали форму мелкопластинчатого междендритного графита. Исходя из данного наблюдения, был сделан вывод, что при отсутствии в расплаве достаточного количества кремния углерод не обладает диффузионной подвижностью, необходимой для самостоятельного перемещения из расплава к формирующимся графитным включениям.

Именно по этой причине введение в расплав кремния необходимо для предотвращения кристаллизации железоуглеродистого сплава по метастабильной диаграмме состояния. Причем если кремний вводится в расплав в виде модификатора при внепечной обработке, его концентрация в расплаве может оставаться практически неизменной, т.е. графитизирующее действие кремния проявляется значительно сильнее. С другой стороны, если углерод в чугуне не является активным графитизатором, регулируя величину навески модификатора, можно добиться кристаллизации по желаемому механизму практически в любом составе чугуна для отливок практически любой толщины. Таким образом, за счет модифицирования расплава чугуна кремнием и подбора правильного соотношения между содержанием углерода в расплаве и навеской модификатора можно эффективно управлять не только структурой, но и механическими свойствами чугуна в отливках. Это позволяет в целом ряде случаев избегать присадок в расплав дорогостоящих легирующих элементов.