

УДК 621.74:669.13

А.С. Раковец, ассист.; Д.В. Куис, канд. техн. наук, доц.,  
Л.З. Писаренко, науч. сотр.;  
Н.А. Свидуневич, проф., канд. техн. наук;  
О.Ю. Цынкович, инж. (БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА СОДЕРЖАЩЕГО НАНОУГЛЕРОДНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА**

Предпосылкой к разработке составов комплексных модификаторов для получения высокоуглеродистого антифрикционного чугуна основывается на идее «встречного модифицирования» обеспечивающего повышение свойств мягких чугунов за счет добавок противоположного влияния, т.е. в одновременном или раздельном вводе графитизирующих модификаторов и отбеливающих элементов, которые не только ослабляют действия каждого из них, но и складывается наиболее приятная синергетика процесса модифицирования.

В процессе выплавки чугуна с целью увеличения содержания углерода до расчетных концентраций на зеркало металла добавляли гранулированный графит (в виде коксика гранулированного по ТУ 4-05-2-79). Подобная операция фактически представляет собой процесс первичного модифицирования непосредственно в плавильном тигле, где при термовременной выдержке происходит не только насыщение расплава углеродом, но к образованию в нем дополнительных центров графитизации.

Последующая ковшевая обработка расплава производится добавками ферросиликобария и брикетов алюминия с фуллереновой сажой (Al+ФС).

Это вызывает дополнительные в высокой степени измельчения эвтектического зерна, т.е. измельчения структуры чугуна, что оказывает благоприятное влияние на формирование разориентированных равномерно распределенных пластинчатых выделений графита.

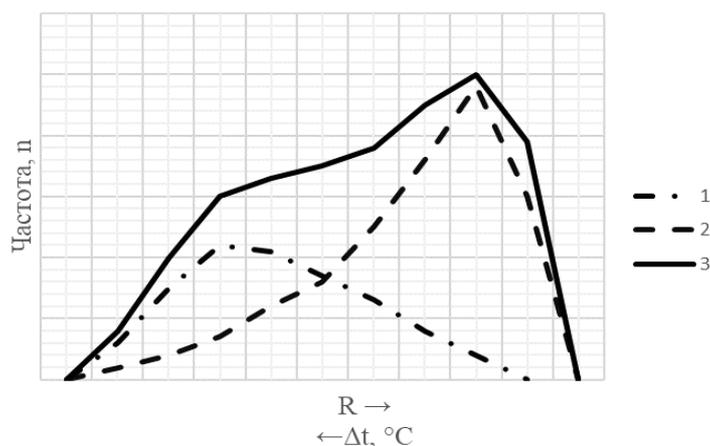
Комбинация Al-ФС, используемая в качестве добавки, в составе комплексного модификатора, готовили путем механоактивации в шаровой мельнице стружки Al9 с добавлением фуллереновой сажи в количестве 10% от массы силумина с последующим брикетированием.

Углеродные ультрадисперсные наночастицы, входящие в состав брикета являются готовыми центрами кристаллизации, обладающими длительной живучестью.

Эффективность двойного модифицирования заэвтектических чугунов обеспечиваются обязательной высокой температурой расплава при 1450-1500°C. Это вызвано существованием в расплаве после его насыщения графитом большого количества зародышей, которые будут подавлять эффект последующего модифицирования в ковше. Если исключить перегрев, то чугун не будет склонен к переохлаждению, поскольку углероду энергетически выгоднее кристаллизоваться на более крупных готовых зародышах, что происходит в условиях незначительного переохлаждения расплава.

При этом не используются мелкие потенциальные зародыши, чугун не проявляет восприимчивости к присадкам модификаторов и модифицирование такого чугуна практически оказывается неэффективным. Эти обстоятельства объединяют малую чувствительность мягких чугунов к модифицированию.

Степень графитизации чугуна, которая зависит от количества центров, образованных при графитизирующим модифицированием, величина переохлаждения и критического размера зародышей, схематически представлена частотными кривыми (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Частотные кривые распределения зародышей графита  $n$  в не модифицированном 1 и модифицированном чугуне 2 и суммарная кривая распределения 3 в зависимости от степени переохлаждения сплава  $\Delta t, ^\circ\text{C}$**

В немодифицированном жидком чугуне (кривая 1) всегда имеются потенциальные центры кристаллизации. При введении модификатора в чугун вносятся дополнительные зародыши (кривая 2). Суммарная кривая представлена распределения (кривая 3) определяет увеличение числа зародышей в расплаве после модифицирования и рост их количества зависит от соответствующего повышения степени переохлаждения  $\Delta t, ^\circ\text{C}$  и уменьшения критического размера зародышей  $R$  в жидком чугуне.

Таким образом эффект модифицирования мягких чугунов возможен после высокотемпературной выдержки науглероженного чугуна. При этом растворимость углерода увеличивается, графитные комплексы уменьшаются в размерах, более мелкие растворяются, дезактивируются другие примеси. Склонность такого чугуна к переохлаждению возрастает, создаются предпосылки успешной реализации эффекта модифицирования высокоуглеродистых чугунов и получения эвтектического зерна высокой степени измельчения.

Последнее является важным, но не основным показателем, определяющим повышения свойств заэвтектических чугунов, увеличение графитной фазы требует в свою очередь упрочнения матрицы такого чугуна, что достигается микролегированием сурьмой.

Таким образом включения в состав комплексного модификатора помимо ферросиликобария, брикеты Al-ФС обеспечивает дополнительное зарождение центров кристаллизации, т.е. увеличение числа эвтектических зерен и получение мелкозернистой структуры.

УДК 620.197:669:621.794

А. С. Калиниченко, д-р техн. наук;  
В. Г. Лугин, канд. хим. наук;  
Т. Л. Карпович (БГТУ, г. Минск)

### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА ТОЛЩИНУ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ**

Титановые сплавы представляют большой научный и практический интерес для производства изделий медицинского назначения [1].

Несмотря на уникальное сочетание физико-механических свойств, титановые сплавы обладают недостаточными антифрикционными свойствами, что требует разработки методов и технологий модифицирования поверхности изделий из титановых сплавов. Есть ряд способов повышения антифрикционных свойств титановых сплавов [2]. Одним из таких методов является технология электролитно-плазменной обработки [3].

Принимая во внимание, что толщина модифицированного слоя зависит от многих факторов (марка сплава, состав электролита, подаваемое напряжение и др.), целесообразно оценить влияние времени обработки на толщину модифицированного слоя для фиксированных температур.

Зависимость величины максимальной температуры нагрева по-