

РОЛЬ ПРИМЕСЕЙ СЕРЫ И ЦЕРИЯ В ПРОЦЕССЕ  
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И  
СИНТЕТИЧЕСКИХ ЧУГУНОВ

Д.Н.Худокормов, О.С.Комаров, В.А.Бахмат

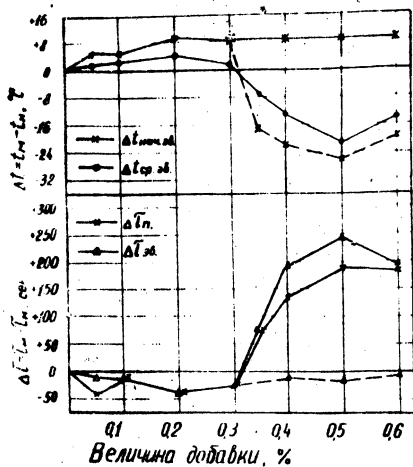
В настоящее время все большее распространение получает плавка чугуна в индукционных печах промышленной частоты, при которой происходит снижение содержания серы в расплаве. Сера специально удаляется из расплава при получении высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Несмотря на существенное влияние серы на структуру и свойства чугуна, роль ее в процессе кристаллизации остается не совсем ясной, о чем свидетельствуют литературные данные. В работах /1, 2/ при добавках серы наблюдали укрупнение включений графита, однако в работе /3/ приводятся сведения об их измельчении. Не выяснено и влияние серы на число центров кристаллизации графита (число эвтектических зерен). Если в работе /1/ добавки серы не изменяли числа эвтектических зерен, то в работах /4,5/ зерно измельчалось. В работе /2/ добавки серы до 0,05% укрупняли, а большие присадки измельчали эвтектические зерна. При производстве чугуна с шаровидным графитом содержание серы снижают с целью уменьшения опасности возникновения "черных пятен". Однако при этом обычно не изучается специфика кристаллизации высокопрочных цериевых и магниевого чугунов с различным исходным содержанием серы.

Поэтому представляло интерес проведение экспериментов по сравнительному влиянию различных по величине добавок Се и S на кристаллизацию синтетических, не содержащих серы, и промышленных чугунов.

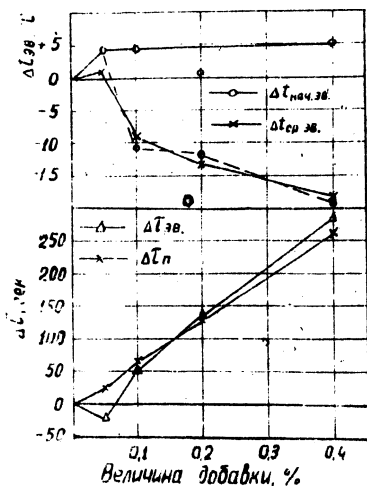
Для опытов использовался промышленный чугун состава: 3,87% С; 0,99% Si; 0,20% Mn; 0,043% S; 0,085% P; 0,11% Сз и синтетический сплав состава: 3,9% С; 1,0% Si; Fe — остальное, приготовленный из реакторного графита, полупроводникового кремния и карбонильного железа В-3. В случае использования промышленного чугуна образцы вытаскивали из стержней, отлитых из чугуна одной плавки. Образцы

синтетического сплава изготавливались прессованием из порошковых материалов с последующим спеканием в вакуумной печи при температуре  $1100^{\circ}$  в течение 4 часов. Остальное давление в печи составляло  $10^{-3}$  мм рт.ст.

Два образца одинакового состава и веса (по 70 г) плавилась одновременно в кварцевых пробирках диаметром 16 мм в силитовой печи и выдерживались при температуре  $1420^{\circ}$ . Образцы из промышленного чугуна плавилась в обычной атмосфере, образцы же из синтетического сплава расплавляли в вакууме. Ввиду деформации кварцевых пробирок под действием внешнего давления перегрев и охлаждение синтетического сплава производили в атмосфере аргона марки А ( $N_2$  - до 0,01%,  $O_2$  - до 0,003%) под избыточным давлением 200 мм рт.ст. После выдержки (7 мин. для промышленного и 15 мин. для синтетического сплава) в одну из пробирок вводилась добавка, величина которой достигала 0,6% для Се и 0,4% для S. В процессе охлаждения образцов в печи с помощью вольфрам-молибденовой термпары и пирометра Курнакова (ФПК-59) снимались кривые охлаждения сплавов исходного состава и с добавкой, а также разность температур между ними. Охлажденные слитки разрезали в месте расположения горячего



а



б

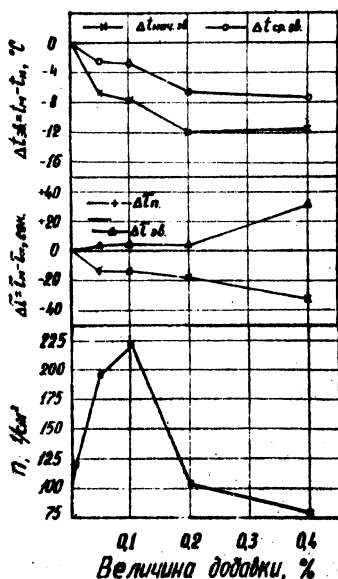
Рис. 1.

Влияние добавок Се на параметры первичной кристаллизации: а-промышленного чугуна; б-синтетического сплава.

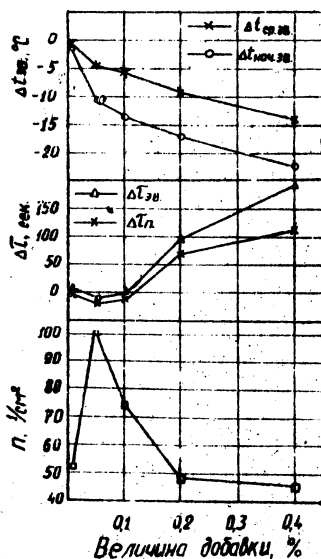
опая и определяли средний размер включений графита и число эвтектических зерен.

Добавки церия до 0,3% в промышленный чугуун (рис. 1,а), не приводящие к сфероидизации графита, повышают температуру начала кристаллизации эвтектики ( $\Delta t_{нач.эв.}$ ) и среднюю температуру эвтектического превращения ( $\Delta t_{ср.эв.}$ ). При этом сокращается продолжительность полной ( $\Delta t_{п.}$ ) и эвтектической ( $\Delta t_{эв.}$ ) кристаллизации, резко уменьшается длина включений графита с одновременным их утолщением и растет число эвтектических зерен. Добавки Се, сфероидизирующие графит (0,3%), дают обратный эффект. Характерно, что снижение температуры начала кристаллизации эвтектики не наблюдается, но рост эвтектических колоний в начальный момент идет медленно, что вызывает снижение площадки кристаллизации (штриховая линия) и средний температуры превращения.

При легировании церием синтетического сплава (рис. 1,б) снижение температур эвтектического превращения и увеличение продол-



а



б

Рис. 2.

Влияние добавок С на параметры первичной кристаллизации: а-промышленного чугуна; б-синтетического сплава.

жтельности кристаллизации начинается при добавках серы более 0,05%, т.е. значительно раньше, чем в случае легирования промышленного чугуна. Последнее связано с меньшим расходом серы на взаимодействие с примесями чугуна. Подсчет числа включений шаровидного графита на единицу площади поверхности шлифа показал, что для промышленных сплавов это число в 2-5 раз больше при эквивалентных по величине добавках сверх необходимой для получения в сплавах шаровидного графита. Кроме того, при добавке 0,4% Se в синтетическом сплаве наблюдалось явление "перемодифицирования", т.е. появлялся мелкодисперсный пластинчатый графит.

Сера в промышленном (рис. 2, а) и в синтетическом сплаве (рис. 2, б) при всех добавках понижает температуру эвтектического превращения, но его продолжительность существенно увеличивается только при добавках серы свыше 0,2% для промышленного и свыше 0,1% для синтетического чугуна. Очевидно, до этого предела добавки серы слабо влияют на рост графита, но тормозят рост аустенита, о чем свидетельствует переохлаждение, наблюдаемое на кривых охлаждения при выделении последнего. В связи с этим не наблюдается увеличение продолжительности эвтектического превращения, несмотря на снижение его температуры. В промышленной чугуне часть серы расходуется на связывание марганца, поэтому процесс торможения начинается позже, чем в синтетическом сплаве. Максимум числа эвтектических зерен ( $N$ ) в промышленном чугуне с добавкой 0,1% S свидетельствует о взаимной нейтрализации марганца и серы. Из приведенных зависимостей следует что сера начинает тормозить процесс роста графита только при ее содержании в растворе около 0,1%. При меньших количествах она влияет на рост графита косвенно, тормозя процесс зарождения и роста кристаллов аустенита. Характерно, что в синтетическом чугуне сера в большей степени препятствует росту эвтектических колоний, что затягивает процесс не только эвтектической, но и полной кристаллизации. Особенно резко наблюдается замедление роста твердой фазы к концу эвтектической площадки, когда повышается концентрация серы в жидком расплаве.

Несмотря на общее сходство характера изменения числа эвтектических зерен в промышленном и синтетическом сплаве, абсолютное значение этого числа значительно меньше для последнего. Кроме того, в синтетическом сплаве максимум наблюдается при меньших добавках. Характерно, что добавки до 0,2% S в промышленный сплав укрупняют включения графита, а увеличение присадки вызывает обратный процесс.

Таким образом, при снижении содержания серы в чугунах ниже 0,05% следует ожидать измельчения графитной фазы и уменьшения числа центров графитизации. Поэтому удаление серы из расплава при производстве высокопрочных серистых чугунов, уменьшая требуемую величину добавки церия, вызывает необходимость вторичного модифицирования графитизирующими присадками для избежания отбела в отливках.

### Л и т е р а т у р а

1. Л ю к о Б., Т а н н е н б е р г е р Х. 29-ий Международ-  
ный конгресс литейщиков. "Машиностроение", М., 1967.
2. Ц и г л е р Р. 30-й Международный конгресс литейщиков.  
"Машиностроение", М., 1967.
3. О к а м о т о, С е д з о, И с и х а р а, Д з и н, К и н д-  
з о к у. *Metals*, 1957, 27, № 7.