



*Possibility of use of complex modification of hypereutectic gray cast iron by graphitizing and antigraphitizing additions for manufacture of castings with high antifriction and antiscratching properties is shown.*

Л. З. ПИСАРЕНКО, ОАО «МЗОО»

## **"ВСТРЕЧНОЕ" МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СЕРОГО ЧУГУНА**

УДК 621.74:669.13

Основанием для выполнения настоящей работы явилась возникшая на Минском моторном заводе острая проблема поиска заменителя биметалла "сталь—бронза", используемого в качестве антифрикционного материала для втулок направляющих клапанов двигателя Д 240 трактора "Беларус". Данная проблема существовала не только на ММЗ и над ее решением работали ряд других заводов и НИИ. Однако предлагаемые ими заменители биметалла по разным причинам не могли быть приняты для массового производства из-за неудовлетворительной обрабатываемости, плохой прирабатываемости, хрупкости, высокой стоимости. Проблема замены биметаллической трубы "сталь—бронза" на ММЗ также была связана с ее острой дефицитностью, нетехнологичностью, низкой износостойкостью и высокой стоимостью.

Идея и теоретические предпосылки в подходе к разработке нового состава антифрикционного чугуна основывались на результатах проведенных совместно с ФТИ НАН Беларуси исследований [1] по проблеме, которая впоследствии получила название "встречное" модифицирование [2], обеспечивающее повышение свойств мягких, в том числе и заэвтектических чугунов за счет использования добавок противоположного влияния. Было установлено, что возможности регулирования структуры и свойств высокоуглеродистых чугунов, в природе которых уже заложены антифрикционные и антизадирные качества, могут быть расширены и реализованы путем применения графитизирующих модификаторов и легирующих элементов, увеличивающих переохлаждение.

В качестве легирующего элемента была выбрана сурьма, принимая во внимание ее перспективность как добавки, обеспечивающей антифрикционные свойства серого чугуна. Как известно, сурьма активно изменяет физико-механические свойства, структуру и характер распределения графита в чугуне. Добавки сурьмы перлитизируют металлическую основу, повышают степень дисперсности перлита. Вместе с тем низкая прочность, повышенная хрупкость, плохая обрабатываемость отливок из сурьмянистого чугуна явля-

ются сдерживающим фактором более широкого его использования в машиностроении. Однако, несмотря на ухудшение прочности сурьмянистого чугуна, сурьма служит объектом повышенного интереса со стороны многих исследователей. Это объясняется тем, что положительные изменения в структуре сурьмянистых серых чугунов обеспечивают их низкий износ и высокие антифрикционные свойства. Точка зрения многих авторов о роли сурьмы в этом качестве совпадает. Но большинство известных исследований касается главным образом чугуна доэвтектического состава. Данные по заэвтектическим сурьмянистым серым чугунам практически отсутствуют, а наш выбор чугуна заэвтектического состава диктуется прежде всего необходимостью существенного улучшения обрабатываемости мелких отливок в условиях массового производства, а также рациональным использованием повышенного количества графитной фазы, играющей роль смазки при работе деталей в условиях сухого трения и периодического масляного голодания, т.е. обеспечения более высоких эксплуатационных свойств. Однако повышенное количество графитной фазы в заэвтектических сплавах требует особого подхода к решению вопросов прочности металлической основы.

Исследовали особенности структурообразования, механические и специальные свойства высокоуглеродистых чугунов с целью использования их в качестве антифрикционных при воздействии добавок сурьмы, графитизирующей кремнистой лигатуры с РЗМ — ФС30РЗМ30 или барием, а также графита. Особенность получения чугунов с высоким углеродным эквивалентом и показателями эксплуатационных свойств связана с необходимостью реализации эффекта модифицирования. Установившееся мнение противоречит такой возможности, поскольку модифицирование подобных чугунов неэффективно ввиду малой склонности к переохлаждению. В результате проведенных исследований был предложен метод тигельно-ковшевой обработки или двойного модифицирования, позволяющий получать заэвтектический чугун с высокими антифрикционными свойствами.

ми. Сущность метода состоит в том, что в процессе выплавки таких сплавов с целью увеличения в них содержания углерода до расчетных концентраций на зеркало металла добавляется графит. Подобная операция фактически представляет собой процесс первичного модифицирования непосредственно в плавильном тигле, поскольку при термовременной выдержке происходит не только процесс насыщения расплава углеродом и увеличение его концентрации в чугунах, но также и образование в нем дополнительных центров графитизации. Последующая ковшевая обработка расплава ФС30РЗМ30, представляющая собой вторичное модифицирование, усиливает и закрепляет эффект первичного модифицирования и гарантирует технологическую надежность эффекта модифицирования заэвтектических чугунов.

Эффективность двойного модифицирования заэвтектических чугунов обеспечивается обязательной высокотемпературной обработкой 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 объясняют малую чувствительность мягких чугунов к модифицированию.

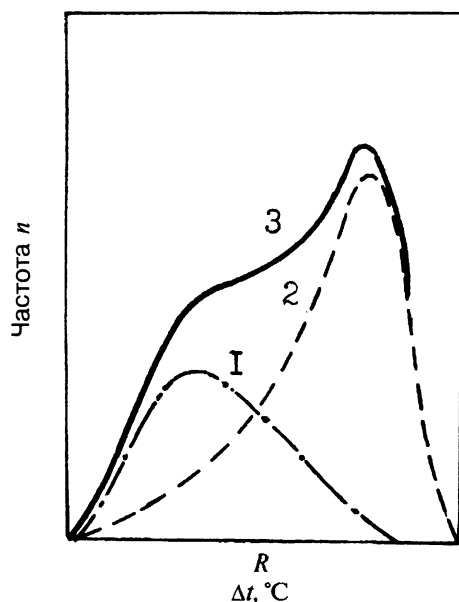


Рис. 1. Частотные кривые распределения зародышей графита  $n$  в немодифицированном 1 и модифицированном 2 чугунах и суммарная кривая распределения 3 в зависимости от степени переохлаждения сплава  $\Delta t$ , °C

Степень графитизации чугуна, которая зависит от количества центров, образованных при графитизирующем модифицировании, величины переохлаждения и критического размера зародышей, схематически представлена частотными кривыми на рис. 1 [3]. В немодифицированном жидком чугунах 1 всегда имеются потенциальные центры кристаллизации. При введении модификаторов в чугун вносятся дополнительные зародыши 2. Суммарная кривая распределения 3 определяет увеличение числа зародышей в расплаве после модифицирования и рост их количества зависит от соответствующего повышения степени переохлаждения  $\Delta t$ , °C и уменьшения критического размера зародыша  $R$  в жидком чугунах.

Таким образом, эффект модифицирования мягких чугунов возможен после высокотемпературной выдержки науглероженного расплава. 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 высокоуглеродных чугунов и получение эвтектического зерна высокой степени измельчения. Последнее является важным, но не основным показателем, определяющим повышенные свойства заэвтектических чугунов. Увеличение количества графитной фазы требует в свою очередь упрочнения матрицы такого чугуна, что достигается микролегированием сурьмой.

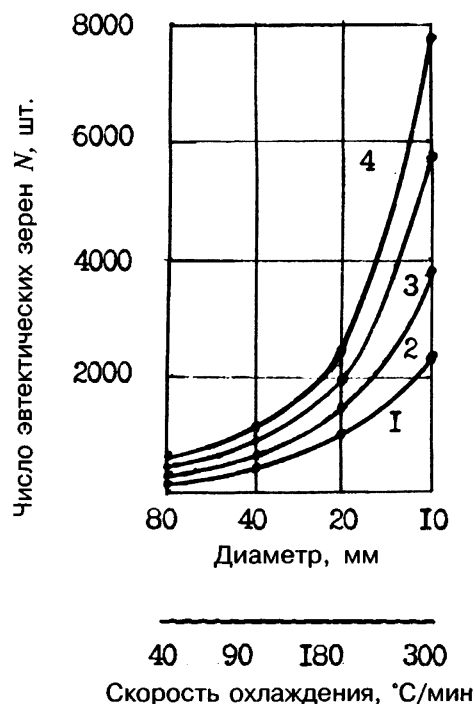


Рис. 2. Влияние добавок 0,1% Sb (1), 0,1% Sb и 0,1% ФС30РЗМ30 (3), 0,1% ФС30РЗМ30 (4) на размер эвтектического зерна исходного чугуна (2) при различных скоростях охлаждения

На рис. 2 представлены сравнительные данные по влиянию отдельных и совместных добавок сурьмы на основной показатель эффекта модифицирования, размеры эвтектических зерен, приходящихся на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа из чугуна  $C_3=4,42$  (3,8% С, 2,1% Si), подсчитанных на образцах диаметром 10, 20, 40 и 80 мм, охлаждающихся со скоростью соответственно 300, 180, 90 и 40°С/мин. На рис. 3 приведены результаты исследований формы, размеров и строения границ эвтектических зерен опытных отливок диаметром 20 мм. Добавка 0,1% сурьмы увеличивает размеры эвтектических зерен исходного чугуна. Однако ковшевая микродобавка сурьмы совместно с ФС30РЗМ30 оказывает уже положительное воздействие, поскольку ввиду преобладания модифицирующего эффекта ФС30РЗМ30 эвтектическое зерно исходного чугуна измельчается. Ускорение

затвердевания отливок заметно усиливает эффект воздействия модифицирующей и легирующей добавок. Степень воздействия скорости охлаждения зависит в этих случаях от вида добавок и изменение размеров эвтектических зерен может быть весьма существенным.

Сравнительные испытания антифрикционных свойств сурьмянистых чугунов и контрольных образцов проводили на специальном стенде, моделирующем жесткие условия работы направляющих втулок двигателей Д 240 трактора "Беларус". Величина линейного износа оценивалась изменением размеров внутреннего диаметра втулки и средним результатом измерений не менее 10 опытных образцов. Исследование износостойкости высокоуглеродного сурьмянистого чугуна проводили на сплавах с различным углеродным эквивалентом, содержание сурьмы в которых составило

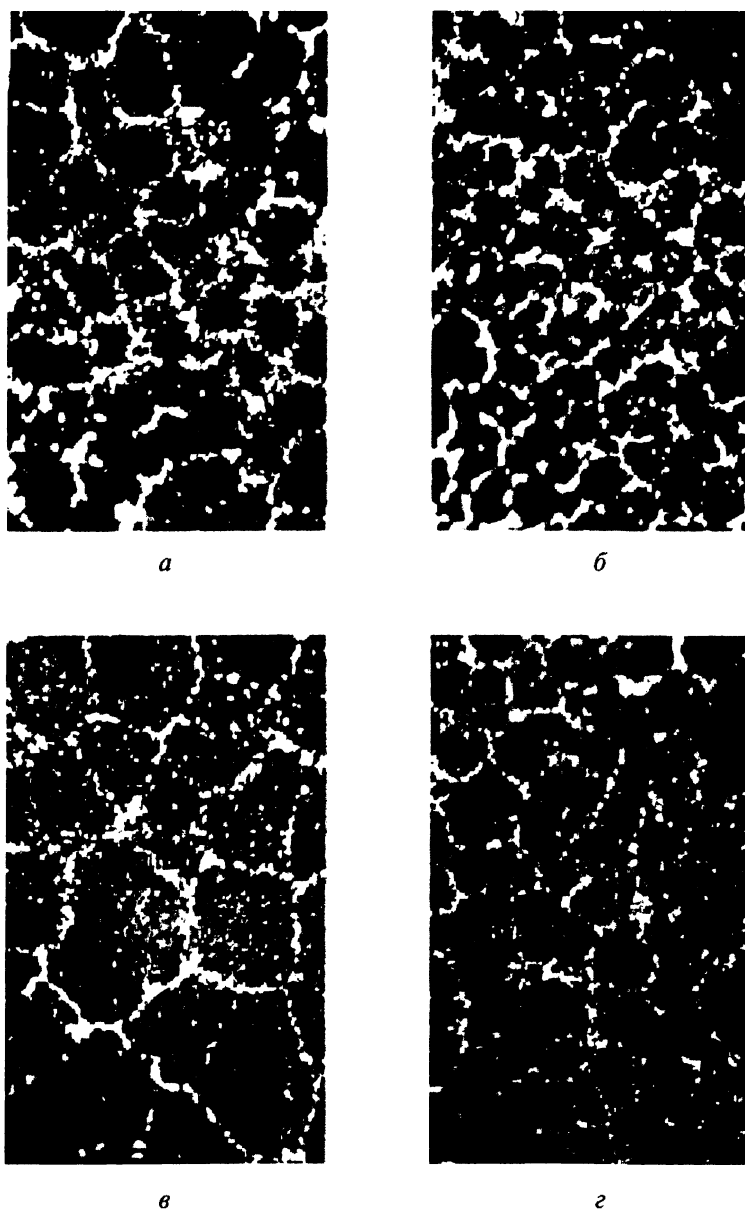


Рис. 3. Строение и размеры эвтектических зерен в отливке диаметром 20 мм: а — исходный чугун; б — модифицированный 0,1% ФС30РЗМ30; в — добавка 0,1% сурьмы; г — модифицированный 0,1% ФС30РЗМ30+0,1% сурьмы.  $\times 36$



0,04—0,29%. Для сравнения получаемых результатов использовали втулки из антифрикционного серого чугуна АСЧ-2 и специальных сложнотлегированных серых чугунов, рекомендуемых в качестве антифрикционных ведущими в то время институтами НАТИ и ВНИИТмаш, усложненного состава, не содержащих сурьмы, но с небольшими добавками хрома, меди, бора, фосфора и др. Экспериментальные втулки изготавливали также из бронзы марки БрОФ 6,5—0,15, обладающей минимальным коэффициентом трения.

Высокоуглеродистый чугун с микродобавками сурьмы выгодно отличается от других антифрикционных сплавов более низкой величиной износа, уровень которого в оптимальном по составу сплаве сравним с износостойкостью бронзы. Выплавка оптимального по составу и износостойкости чугуна заэвтектического состава обусловлена как технологическими особенностями получения высокоуглеродистых сплавов, так и регламентацией предельных содержаний в чугуне сурьмы и кремния. Содержание кремния должно быть в пределах 1,6—2,4%, сурьмы — 0,04—0,12 и углерода — 3,7—4,2%. Кремний ограничивает растворимость углерода в жидком чугуне, затрудняет науглероживание исходных сплавов, способствует их охрупчиванию. Механические свойства оптимального по составу высокоуглеродистого сурьмянистого чугуна с

$C_3=4,57$  достаточно высоки, а именно его прочность при разрыве составляет 15—18 кгс/мм<sup>2</sup>.

Для получения высокоуглеродистого сурьмянистого чугуна разработан комплексный модификатор, защищенный а.с. 257277, содержащий графит, ФС30РЗМ30 и сурьму. Состав чугуна защищен а.с. N 1005491, патентами Германии, Болгарии, Чехии. Чугун выплавляют в дуговой печи емкостью 1 т на участке антифрикционного чугуна литейного цеха № 3 Минского тракторного завода. За период внедрения с 1983 г. рекламаций по выходу из строя втулок направляющих клапанов не было. Это свидетельствует о том, что разработанный чугун обеспечивает работу двигателя на весь запланированный моторесурс и подтверждает правильность теоретических предпосылок и результативность использования идеи "встречного" модифицирования. Получен большой экономический эффект в народном хозяйстве за счет снижения себестоимости деталей.

#### Литература

1. Шевчук Л. А., Писаренко Л. З. Эвтектическая кристаллизация и структура модифицированного серого чугуна // Литейное производство. 1979. № 8. С. 3—4.
2. Жуков А. А., Снежной Р. Л., Иваненко С. М., Давыдов С. В. О комплексном модифицировании чугуна // Литейное производство. 1985. № 3. С. 9—6.
3. Swinden D. J., Wilford C. F. The nucleation of graphite from liquid iron: a phenomenological approach // Brit. Foundryman. 1976. Vol. 69, N 5. P. 118—127.