

Л. З. ПИСАРЕНКО, ОАО "МЗОО"

МОДИФИЦИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ ЧУГУНА

УДК 621.74:669.13

Модифицирование — наиболее часто используемый на практике вид последующей обработки жидкого чугуна, который преследует целенаправленное вмешательство в процесс эвтектической кристаллизации. При этом достигаются два основных эффекта модифицирования. Первый — снижается склонность чугуна к отбелу при затвердевании и создаются условия для выделения графита в свободном состоянии. Благодаря этому в чугуне с пластинчатым графитом предотвращается образование отбеленных и твердых кромок, чем обеспечивается удовлетворительная обрабатываемость отливок.

При получении чугуна с шаровидным графитом необходимо производить обработку чугуна магнием, но в сочетании с модифицированием, иначе также образуется отбеленная или половинчатая структура.

Второй эффект модифицирования состоит в повышении мелкозернистости структуры, т.е. в увеличении числа эвтектических зерен. Благодаря этому в чугуне с пластинчатым графитом повышаются прочность и вязкость, получается однородная структура с равномерно распределенными неориентированными графитными включениями. В чугуне с шаровидным графитом при повышении числа эвтектических зерен, которое практически соответствует росту числа шариков графита, не образуются, как в сером чугуне, ликвационные зоны, отсутствует надрезающее действие пластинок графита. В результате в ЧШГ заметно возрастают прочность и особенно вязкость.

Известно [1], что эффект модифицирования серого чугуна ферросилицием и другими подобными по влиянию на процесс кристаллизации добавками в значительной мере зависит от склонности исходного сплава к переохлаждению. Мягкие чугуны, затвердевающие серыми с малым переохлаждением в процессе эвтектической кристаллизации, не дают значительного увеличения числа эвтектических зерен при введении в них графитизирующего модификатора типа ферросилиция. Хороший эффект модифицирования с помощью таких добавок наблюдается в склонных к переохлаждению жестких чугунах. Повышение скорости охлаждения отливки мягкого чугуна способствует усилению эффекта модифицирования. В том же направлении действует введение в чугун вместе с графитизирующими модификаторами добавок, способствующих увеличе-

The article considers influence of single and complex admixtures of graphitizing modifiers and elements increasing supercooling as well as effect of the level of eutecticity, carbon content and cooling speed on the eutectic crystallization process, structure and characteristics of cast iron. The author alleges to the samples of effective use of "counter modifying" in production.

нию переохлаждения чугуна, марганца, хрома, сурьмы, магния, молибдена, ванадия и др.

С целью объяснения указанных фактов с единой точки зрения исследовали влияние переохлаждения при эвтектической кристаллизации на эффект модифицирования чугуна с различным содержанием углерода и кремния с помощью графитизирующих и комплексных добавок, содержащих дополнительно к первым элементы, способствующие увеличению переохлаждения сплава при эвтектической кристаллизации.

Исследовали чугун с 3,5 % углерода, в котором при содержании 1,5 и 2,5 % кремния концентрация марганца составляла 0,6 и 1,2 %. В качестве модификатора использовали ферросилиций марки ФС75 в количестве 0,2—0,6%. Содержание серы и фосфора было 0,03 и 0,1 % соответственно. При изучении особенностей процесса кристаллизации и оценке изменения степени переохлаждения расплава после модифицирования использовали метод дифференциального термографического анализа.

Анализ дифференциальных кривых охлаждения опытных сплавов (рис. 1) свидетельствует о том, что выделение первичных кристаллов аустенита в модифицированном ферросилицием чугуне начинается позже, чем в немодифицированном сплаве. Это можно объяснить тем, что добавка кремния изменяет степень эвтектичности чугуна, приближая его к эвтектическому. Возможно это связано с зарождением дендритов аустенита, поскольку данное изменение

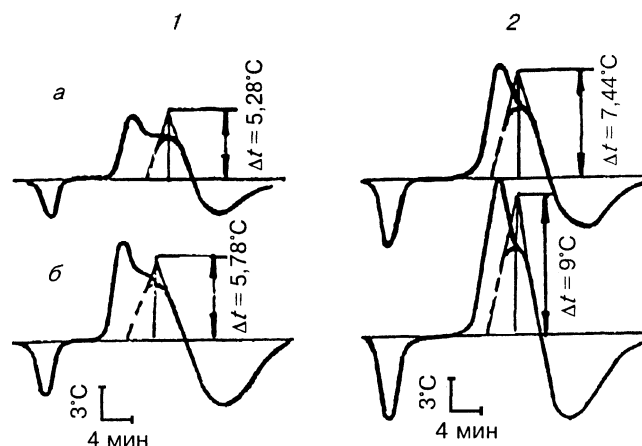


Рис. 1. Дифференциальные кривые охлаждения чугуна, модифицированного 0,6% ФС75 и содержащего 2,5% Si (1) и 1,5% Si (2): а — 0,6% Mn; б — 1,2% Mn

наблюдается уже при добавке всего 0,2 % ферросилиция. Следует предположить, что добавка ферросилиция не оказывает затравочного действия при кристаллизации первичного аустенита. Затравочное влияние ферросилиция проявляется только при эвтектической кристаллизации, в результате чего уменьшается переохлаждение. При этом эвтектическая кристаллизация в модифицированном сплаве начинается раньше, чем в немодифицированном.

Анализ дифференциальных кривых охлаждения всех опытных сплавов показывает также, что в модифицированном сплаве температура выделения первичных кристаллов аустенита уменьшается по сравнению с кристаллизацией обычного сплава. Это имеет существенное значение в образовании структуры модифицированного чугуна. Если скорость роста дендритов аустенита в обоих случаях одинаковая, то в модифицированном сплаве размеры дендритов аустенита будут меньшими, чем в немодифицированном.

При модифицировании чугуна ферросилицием, когда степень переохлаждения снижается, характер хода и отклонения дифференциальных кривых от нулевой линии изменяются. Это может происходить по двум причинам. Во-первых, добавка модификатора уменьшает переохлаждение при кристаллизации чугуна и, во-вторых, при значительных добавках ферросилиция кремний может действовать не только как модификатор, но и как ле-

гирующий элемент. В последнем случае повышается равновесная температура кристаллизации эвтектики и увеличивается разность температур эвтектической кристаллизации с добавкой и без добавки ферросилиция.

При модифицировании чугуна 0,6 % ФС75 отмечено уменьшение переохлаждения (Δt) по отношению к эталонному образцу, которое составляет 7,44 и 5,28°C для чугунов с 1,5 и 2,5 % Si. Если в эти чугуны ввести одинаковую добавку марганца, способствующего переохлаждению, то степень уменьшения переохлаждения по отношению к эталонному образцу будет увеличиваться в большей степени в чугуне с низким содержанием кремния ($\Delta t=9,0$ и 5,78°C для чугуна с 1,5 и 2,5% Si соответственно).

Степень воздействия модификаторов на процесс первичной кристаллизации чугуна обусловлена рядом других факторов, таких, как степень эвтектичности, концентрация углерода, наличие легирующих элементов, скорость охлаждения отливок и т.д. Изучали особенности кристаллизации сплавов с углеродным эквивалентом 3,57—4,45, охлаждавшихся со скоростью 300, 180, 90 и 40 град/мин (рис. 2). В качестве модификаторов использовали ФС30РЗМ30 как отдельно, так и в сочетании с металлическим марганцем МпО, хромом ХО. Влияние модифицирования на измельчение эвтектических зерен, уменьшение отбела и другие показатели возрастают с

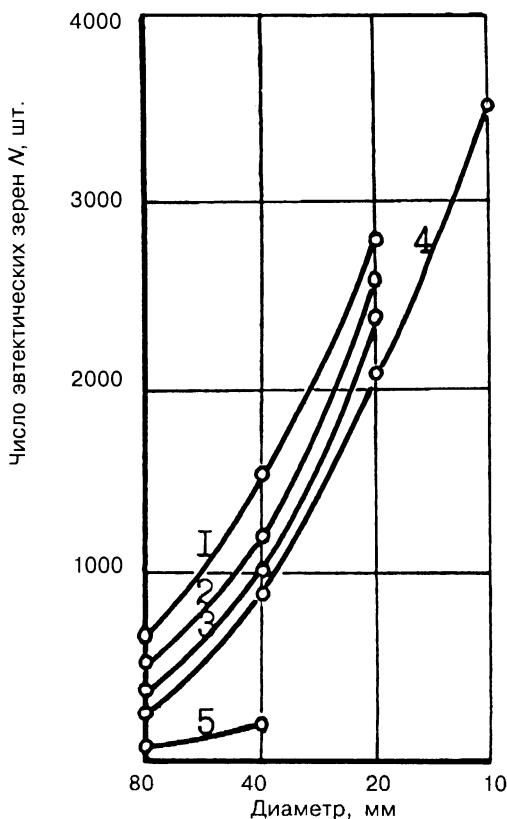


Рис. 2. Влияние скорости охлаждения и углеродного эквивалента на число эвтектических зерен модифицированного чугуна с углеродным эквивалентом C_3 : 1 — 3,57; 2 — 3,63; 3 — 3,71; 4 — 3,88 и 5 — немодифицированного чугуна

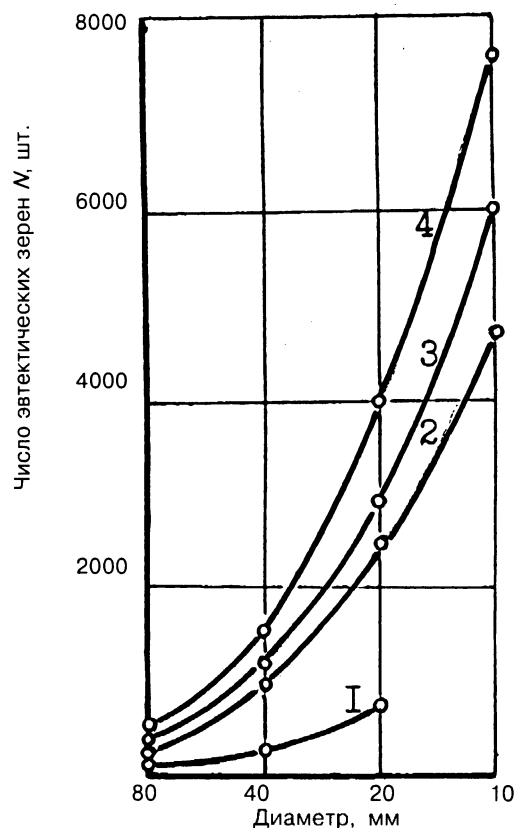


Рис. 3. Влияние отдельных и комплексных добавок на измельчение эвтектических зерен: 1 — исходный чугун; 2 — 0,1% ФС30РЗМ30; 3 — 0,1% ФС30РЗМ30 + 0,6% Мп; 4 — 0,1% ФС30РЗМ30 + 0,6% Сг

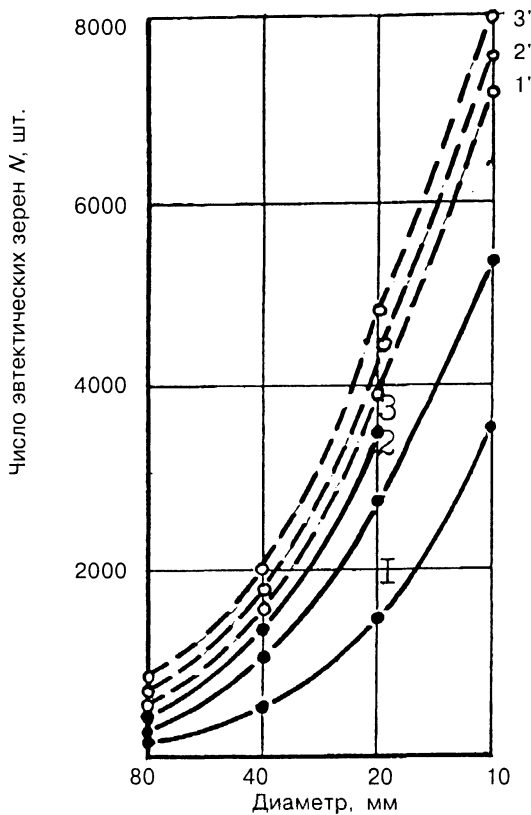


Рис. 4. Влияние скорости охлаждения и эффекта модифицирования в сплавах с высоким углеродным эквивалентом: $C_s = 4,01$ — сплошные линии; $C_s = 4,45$ — штриховые линии; 1, 1' — без модифицирования; 2, 2' — 0,1% ФС30Р3М30; 3, 3' — 0,1% ФС30Р3М30 + 0,6% Cr

уменьшением эвтектичности чугуна и увеличением скорости затвердевания отливок. При этом повышение скорости охлаждения при кристаллизации отливок из чугуна оказывает действие, аналогичное модифицированию, и этот эффект возрастает при использовании комплексных добавок, включающих графитизирующие модификаторы, марганец и хром (рис. 3).

Эффект воздействия модифицирования на кинетику первичной кристаллизации мягких чугунов можно усилить, если создать условия для увеличения дополнительных центров графитизации в процессе подготовки расплава чугуна для модифицирования. Такая возможность была проверена в экспериментах с чугунами с углеродным эквивалентом 4,01 и 4,45. В эти чугуны после их расплавления и с целью доведения в них содержания углерода до расчетных концентраций добавляли графит. Подобная обработка сопровождается образованием в расплаве дополнительных центров графитизации, что усиливает общий эффект измельчения эвтектических зерен при последующем модифицировании таких чугунов (рис. 4). При этом характер воздействия на размер эвтектического зерна скорости охлаждения в исходном, модифицированном 0,1% ФС30Р3М30, а также 0,1% ФС30Р3М30 и 0,6 % хрома остается прежним по причинам, указанным выше. Анализ кривых, приведенных на рис. 4, свидетельствует о

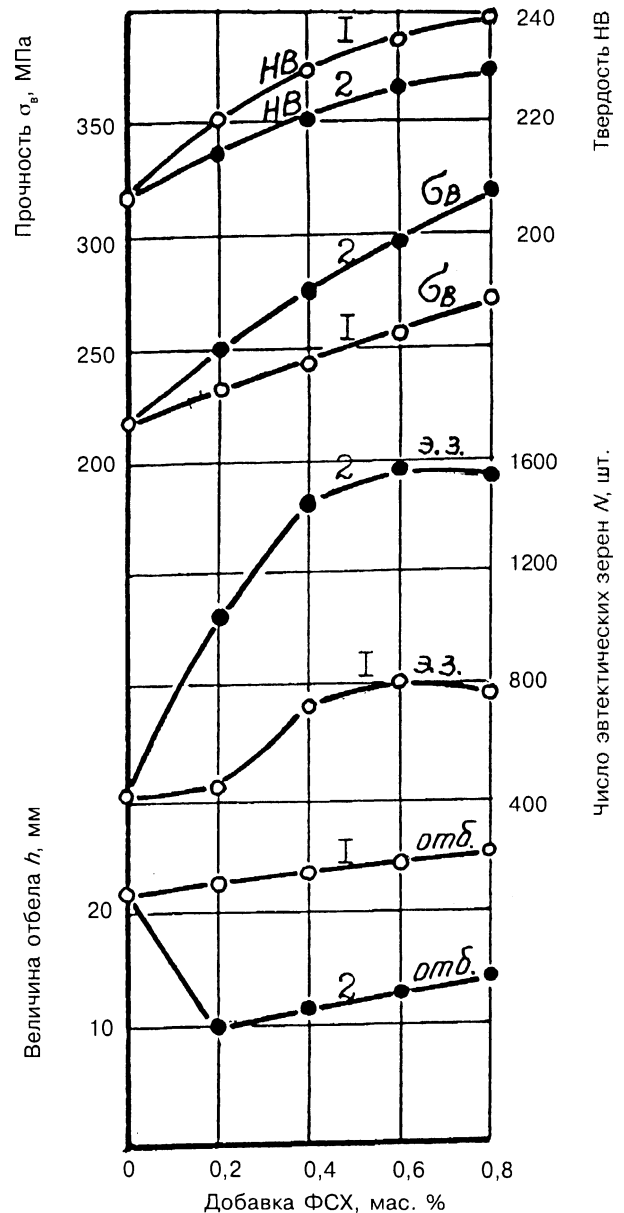


Рис. 5. Влияние отдельных добавок ферросиликохрома (1) совместно с 0,05% ФС30Р3М30 (2) на твердость НВ, прочность σ_s , величину отбела h и число эвтектических зерен N , шт.

более высокой степени измельчения эвтектических зерен после модифицирования в сплаве с $C_s = 4,45$, что противоречит практике модифицирования мягких чугунов. Это можно объяснить более длительным временем насыщения чугуна графитом, следовательно, образованием большего количества дополнительных зародышей графита, чем в чугуне с $C_s = 4,01$ и большим эффектом при последующем модифицировании. Таким образом, наличие в расплаве чугуна достаточно большого количества мелких зародышей графита в виде его включений (комплексов) вызывает эффект модифицирования сплава. Дополнительное же модифицирование такого чугуна дает сравнительно небольшой эффект. Как известно из практики литейного производства, при модифицировании чугуна, содержащего в расплаве достаточно крупные зародыши графита, без доста-

Влияние добавок ферромарганца и ФС30Р3М30 на структуру и механические свойства чугуна

Модификатор	Кол-во вводимого модификатора, %	Механические свойства		Отбел, мм	Число эвтектических зерен, шт.
		σ_b , МПа	НВ		
Без модификатора	—	197	207	27	103
ФС30Р3М30	0,05	207	197	7	615
ФС30Р3М30	0,1	223	192	6	635
ФС30Р3М30 + ФМн	0,05+0,5	235	229	8	510
ФС30Р3М30 + ФМн	0,1+0,5	255	223	7	690
ФМн	0,5	235	229	30	146
ФС30Р3М30 + ФМн	0,05+0,75	240	229	12	484
ФС30Р3М30 + ФМн	0,1+0,75	250	223	9	810
ФМн	0,75	240	235	35	110

точного перегрева значительного измельчения эвтектического зерна не наблюдается.

Практическое использование сочетания графитизирующих модификаторов с легирующими элементами, вызывающими понижение температуры кристаллизации эвтектики, усиливает модифицирующий эффект, что особенно важно для чугунов с высоким углеродным эквивалентом. Легирование чугуна одними легирующими элементами, увеличивающими переохлаждение, позволяет значительно улучшить структуру и повысить механические свойства отливок. Однако для этого необходимо ввести в сплав довольно значительное количество того или иного элемента, что в ряде случаев существенно увеличивает стоимость литья. Кроме того, легирование чугуна этими элементами в сильной степени способствует отбелу и излишнему повышению твердости отливок, что в свою очередь ограничивает применение таких добавок.

В таблице и на рис. 5 приведены результаты исследования влияния единичных и комплексных добавок на структуру и механические свойства чугуна, которые подтверждают теоретические предпосылки получения высокого эффекта модифицирования при обработке чугуна добавками противоположного влияния. Комплексные модификаторы, содержащие графитизирующие модификаторы (ФС30Р3М30, ФС75 и др.), а также элементы, увеличивающие переохлаждение (ферромарганец, ферросилико-

хром), длительное время использовались на МТЗ (а.с. 410121 и 49734). На ОАО «МЗОО» для получения отливок тормозных цилиндров без отбела и с гарантированной перлитной структурой используется комплексный модификатор, содержащий графитизирующий модификатор SB5 (фирма SKW Gisserei) и сурьму.

На Сморгонском литейно-механическом заводе впервые получены отливки поршневых колец из чугуна с шаровидным графитом без следов цемента, также с использованием комплекса, содержащего магний-элемент, увеличивающий переохлаждение в виде магнийсодержащей лигатуры, совместно с графитизирующим модификатором с применением оригинальной технологии ковшевой обработки, близкой к "инмолд-процессу" для максимальной реализации временного фактора.

Обработка жидкого чугуна комплексными добавками противоположного действия получила название в литературе "встречное модифицирование". Этот вид обработки жидкого чугуна комплексными модификаторами изучен недостаточно и является весьма перспективным для дальнейшего развития теории и практики модифицирования как серого, так и высокопрочного чугуна.

Литература

1. Шевчук Л. А. Структура и свойства чугуна. Мн.: Наука и техника, 1978.