



*There is shown, that the maximal effect from application of additives FS75, FS30RMZ, AK15RZM15 is achieved in the first 1-5 sec. after assimilation of adding (0,05 – 0,20% substance of liquid) by the melt SCh.*

Г. Ф. АНДРЕЕВ, Белорусский национальный технический университет

УДК 621.74

## ИССЛЕДОВАНИЕ СУПЕРМОДИФИЦИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЧУГУНА ПРИ ВНУТРИФОРМНОМ ВВОДЕ ИНОКУЛИРУЮЩИХ ПРИСАДОК

Наибольший эффект от модифицирования расплава при внепечной обработке достигается в первые 1–10 с после усвоения присадки расплавом. При последующей выдержке расплава до заливки формы эффект обработки затухает и практически исчезает через 300–600 с в зависимости от типа присадки. Традиционно при массовом производстве отливок время разлива металла по формам из заливочного ковша колеблется от 180 до 600 с. Таким образом, отливки на конвейере заливаются металлом с различным эффектом модифицирования, значительно ослабевающим к концу разлива ковша. Такое ослабление эффекта модифицирования вызывается в первую очередь дезактивацией потенциальных центров роста графитовых включений – уменьшением их размеров и числа. Механизм модифицирующего действия кремния (базовый элемент большинства модификаторов) связывают с наличием при растворении присадок в металле зон, перенасыщенных кремнием, в которых растворимость углерода резко падает и создаются благоприятные возможности для роста графитных включений. А поскольку в процессе выдержки металла в ковше происходит гомогенизация расплава, образовавшиеся включения графита начинают растворяться, углерод переходит в раствор. В настоящее время для обработки серого чугуна широко применяются присадки на основе традиционного ферросилиция ФС75, ФС30РЗМ, СК30, ФСБа-20 и др., температура плавления которого находится в интервале 1000–1200 °С. Температура обрабатываемого чугуна составляет 1340–1360 °С. Поскольку плотность присадки в 1,5 – 3,0 раза меньше плотности жидкого расплава, то, несмотря на предварительную подготовку (дробление), большая ее часть всплывает и переходит в шлак, не успевая раствориться в металле. Необходимость сокращения промежутка времени между моментами ввода модификатора в расплав и затвердевания отливки привела к созданию ряда технологий модифицирования в форме дроблеными присад-

ками. Недостатками данных технологий являются сложность подготовки (дробление, просеивание, прокаливание); необходимость установки дополнительных дозирующих устройств; неравномерность выноса модификатора из реакционной камеры при заливке формы, возможность наличия в металле нерастворенных частиц или неоднородного модифицирования различных частей отливки.

В БНТУ с 1982 г. ведутся работы по исследованию и созданию новых технологических процессов модифицирования в форме серых и высокопрочных чугунов с использованием литых модифицирующих вставок (ЛМВ). Для обеспечения равномерности обработки расплава разработан базовый комплексный легкоплавкий модификатор (КЛМ) на основе высокоактивных рафинирующих компонентов – алюминия и редкоземельных металлов. Новый комплексный модификатор типа АК30РЗМ15 содержит до 30 % кремния, до 15 % редкоземельных металлов цериевой группы и до 50 % алюминия. Основой КЛМ является алюминий. Наличие в составе КЛМ алюминия обеспечивает глубокое рафинирование расплава по кислороду, который, так же как и сера, препятствует графитизации. Кроме того, что достигается раскисление расплава, в растворе образуется большое количество неметаллических включений (оксидов), служащих подложками для роста графита. Избыточное количество алюминия, не связанное в процессе рафинирования расплава, переходит в жидкий раствор, легируя металлическую матрицу (подобно механизму действия кремния) и вытесняя из него атомы углерода, которые в свою очередь осаждаются на поверхности растущих включений графита. Редкоземельные металлы активно связывают вредные примеси, особенно серу, выводят их из раствора и образуют дополнительные центры графитизации. При этом включения графита не только измельчаются, но и улучшается их форма, создаются благоприятные условия для образова-

ния и роста включений. Таким образом, комплексный состав модификатора наиболее полно обеспечивает процесс графитизации. Разработанный состав модификатора вызывает также снижение температуры плавления присадки до 600–750 °С, что резко повышает его усвоение расплавом чу-

гуна. Увеличивается эффективность модифицирования. Комплекс перечисленных выше преимуществ присадок на базе системы алюминий – кремний – РЗМ позволяет снизить массу добавки, резко уменьшить склонность легированного чугуна к отбелу (табл. 1).

Таблица 1. Влияние модифицирования на технологические свойства легированного чугуна

Содержание основных элементов, %				Тип модификатора	Добавка, %	Твердость НВ	Отбел, мм
С	Si	Mn	Cr				
3,3	2,3	0,8	0,6	ФС75	0,05	220	9
					0,1	215	7
					0,2	205	6
				ФС30 РЗМ30	0,05	200	8
					0,1	215	6
					0,2	210	5
				АК30 РЗМ15	0,05	200	4
					0,1	215	2
					0,2	210	0
3,3	2,3	0,8	0,4	ФС75	0,05	200	8
					0,1	195	6
					0,2	190	5
				ФС30 РЗМ30	0,05	195	6
					0,1	190	5
					0,2	185	4
				АК30 РЗМ15	0,05	198	3
					0,1	195	1
					0,2	195	0
3,3	2,3	0,8	0,2	ФС75	0,05	200	7
					0,1	190	6
					0,2	180	4
				ФС30 РЗМ30	0,05	190	4
					0,1	185	2
					0,2	180	0
				АК30 РЗМ15	0,05	195	2
					0,1	185	0
					0,2	180	0

Отбел в исходном (немодифицированном) чугуне находится на уровне 14 – 17 мм, твердость в пробе с толщиной стенки 12 мм – 240 НВ.

Поскольку основой КЛМ является алюминий, были проведены исследования его влияния (присадки 0,1 % по массе) на склонность чугуна к образованию устойчивых карбидных включений в различных сечениях отливки и при разных температурах внепечной обработки. Обработанный серый чугун заливали в специальную ступенчатую пробу с толщиной стенки от 5 до 32 мм и в клиновую пробу на отбел. Температуру обработки чугуна контролировали при помощи хромель-алюмелевой термопары в тигле индукционной печи перед обработкой. Обработку чугуна осуществляли в заливочном тигле, из которого затем в течение 10 с металл заливали в лабораторные пробы. Кривые охлаждения снимали в каждой стенке отливки также с использованием хромель-алюмелевых термопар. В качестве исходного использовали чугун с содержанием 3,0 % углерода, 2,1 % кремния, 0,15 %

хрома. Для отражения склонности чугуна к графитизации на кривых охлаждения выделяли время кристаллизации эвтектики. Для определения склонности чугуна к образованию карбидов и структурно-свободного цементита измеряли твердость в различных сечениях и величину отбела на клинковой пробе (табл. 2).

Проведенные исследования показали, что при позднем модифицировании при минимальном промежутке времени между усвоением присадки и затвердеванием отливки достигается наибольший эффект обработки расплава. Алюминий, переходя в раствор при определенных условиях (температуре и скорости охлаждения отливки), вызывает не только графитизацию чугуна, но и стабилизацию перлитной фазы. Это доказывает его активную роль не только в рафинировании расплава и создании подложек для роста графитных включений, но и в легировании металлической матрицы. При длительной выдержке более 180 с данный эффект значительно ослабевает

Таблица 2. Влияние температуры ввода присадки 0,1 % Al и толщины стенки отливки на время эвтектической кристаллизации, твердость и отбел серого чугуна

Температура, °С*	Время эвтектической кристаллизации и твердость в стенках отливки толщиной, мм**								Отбел по клиновой пробе, мм***
	5		8		16		32		
	τ, с	НВ	τ, с	НВ	τ, с	НВ	τ, с	НВ	
1310	10	215	25	213	42	211	62	211	12,5
1340	8	249	29	234	65	224	97	210	11,5
1360	9	350	47	248	97	205	138	198	16
1400	11	223	38	218	87	215	98	212	10,5

\* Температуры 1310 и 1400 °С были выбраны как крайние из возможных.

\*\* Твердость исходного чугуна – от 210 до 300 НВ.

\*\*\* Исходный отбел находится на уровне 22 мм (среднее значение).

(например, при выдержке модифицированного металла в тигле печи), что связано с насыщением металла кислородом воздуха, выводом оксидов алюминия в шлак и дезактивацией образовавшихся центров роста включений графита. Скорость охлаждения (продолжительность существования жидкой фазы) также оказывает влияние на графитообразование, а запас теплоты расплава и строение жидкой фазы (зависит от температуры перегрева) – на распад комплексных карбидов  $FeAl_nC_m$ .

Таким образом, следует отметить, что сокращение промежутка времени между моментом ввода присадки и попаданием жидкого модифицированного расплава в тело отливки, а также сокращение времени кристаллизации самой отливки позволяют наиболее полно фиксировать эффект от поздней обработки чугуна – так называемое супермодифицированное состояние металла.

Для использования всех преимуществ позднего модифицирования была разработана технология ввода присадки в расплав непосредственно в форме с использованием литых модифицирующих вставок (ЛМВ), изготовленных из КЛМ. При применении данной технологии модифицированный чугун попадает в тело отливки уже через 1–3 с после усвоения присадки, которая располагается под стояком литниковой системы. Масса присадки составляет 0,1 % от металлоемкости формы. Комплексный состав присадки дает воз-

можность наиболее полно рафинировать чугун (без доступа воздуха в форму) и обеспечивать благоприятные условия для графитизации. Наличие большого числа центров графитизации способствует также измельчению графита. Выравниваются показания твердости и прочности в различных сечениях отливки, а также в начале и конце разлива ковша (формах на конвейере). В технологическом плане разработанный процесс внутрiformного модифицирования ЛМВ из КЛМ позволяет устранить недостатки модифицирования традиционными дроблеными присадками. Операция ввода присадки переносится на участок простановки стержней. На одном конвейере при варьировании массы и состава ЛМВ возможно получить отливки с различными характеристиками, используя единый базовый состав чугуна.

В НИЛ ПТППО БНТУ созданы и продолжают исследования по созданию новых КЛМ с добавками активных компонентов для получения чугунов различных типов (СЧ, ЧВГ и ВЧШГ) с использованием технологий позднего ковшевого и внутрiformного модифицирования. Разработана также технология непрерывного модифицирования литым стержнем из КЛМ при непрерывном литье заготовок из легированного чугуна.

### Литература

1. Худокормов Д. Н. Производство отливок из чугуна. Мн.: Выш. шк., 1987. С. 57–65.