

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ЛЕГКОПЛАВКИХ МОДИФИКАТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЛИВОК С ПОВЫШЕННОЙ СКЛОННОСТЬЮ К ОТБЕЛУ И В ПРОЦЕССАХ ПОЗДНЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ

В БНТУ с 1982 г. проводятся работы по исследованию и созданию новых типов модификаторов с температурой плавления 600 – 700°C, технологий их подготовки и производства, оптимизации гранулометрического состава.

Расширение сырьевой базы литейного производства в условиях дорожания и дефицита традиционных шихтовых материалов – литейных чугунов (марок ЛК) с содержанием кремния 2,5 – 3,5%, ферросилиция и других материалов – приводит к все большему использованию в шихте металловалки лома и стали с повышенным содержанием легирующих карбидообразующих элементов Cr, V, Ti, W, низкомарочных и предельных чушковых чугунов с содержанием кремния ниже 1,5%.

При снижении углеродного эквивалента и увеличении примесей карбидообразующих компонентов в чугуне возрастает вероятность образования структурно-свободного цементита и появления отбела на кромках и тонких сечениях отливок.

Для повышения эффективности и экономии присадок применяют техпроцесс ковшевого модифицирования перед заливкой форм. Однако при использовании традиционных присадок недостаточно жидким расплавом (особенно при ваграночной плавке) температура чугуна на желобе составляет 1370 – 1390°C.

Процесс модифицирования является последней технологической операцией по улучшению структуры чугуна перед затвердеванием отливки. Наибольшее распространение в литейном производстве получили модификаторы на основе ферросилиция, которые вводятся в жидкий чугун при температуре 1340 – 1380°C на одном из переливов металла от плавильного агрегата до заливки или непосредственно в форме. Кремний, находящийся в этой присадке, растворяясь в жидком чугуне, вызывает в микроразмерах пересыщение (замутнение) расплава, что приводит к растворимости углерода в железе. Этим он выполняет двойную роль: активизирует подачу строительного материала к зародышам графита и переводит структуру металлической основы в стабильное состояние. Таким образом, уменьшается вероятность образования структурно-свободного цементита. Снижение склонности чугуна к отбелу существенно уменьшает бракуемость деталей из-за неоднородности структуры и улучшает обрабатываемость отливок, что в конечном итоге сказывается на их качестве.

Развитие технологии модифицирования [1] привело к созданию комплексных модификаторов на основе ферросилиция, которые одновременно с понижением растворимости углерода в железе способствуют раскислению и десульфурации чугуна. В настоящее время только графитизирующих присадок насчитывается около 150.

Как правило, новые комплексные модификаторы создаются на основе традиционного ферросилиция. В базовый состав вводятся активные компоненты, способствующие выведению вредных примесей из жидкого раствора или создающие в нем дополнительные центры кристаллизации. Одним из таких достаточно эффективных модификаторов является ФСЗОРЗМ, который кроме 50% кремния содержит 2% кальция, 4% алюминия, 30 – 40% редкоземельных металлов цериевой группы. Основную положительную роль в данном составе присадки играют редкоземельные металлы, которые активно связывают вредные примеси, особенно серу, выводят их из раствора и образуют дополнительные центры графитизации. При этом не только измельчаются включения графита, но и улучшается их форма, создаются благоприятные условия для образования и роста включений. Недостаток модификаторов на основе ферросилиция – их высокая температура плавления – 1000 – 1250°C, что всего на 100 – 350°C меньше, чем температура обрабатываемого чугуна, и низкая в связи с этим степень усвоения присадки расплавом.

В НИЛ ПТППО БНТУ ведутся работы по созданию и совершенствованию уже разработанных модификаторов. Наиболее прогрессивной является разработка нового комплексного модификатора типа АКЗОРЗМ15, содержащего до 30% кремния, 15% редкоземельных металлов цериевой группы и 50% алюминия. Основой КЛМ (а.с. № 1373737) 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 и вытесняя из него атомы углерода, которые в свою очередь осаждаются на поверхности растущих включений графита. Таким образом, комплексный состав модификатора наиболее полно обеспечивает процесс графитизации, а также снижение температуры плавления присадки до 600 – 750°C, что резко повышает его усвоение расплавом чугуна. Повышается эффективность модифицирования. Комплекс перечисленных преимуществ присадок на базе системы алюминий – кремний – РЗМ позволяет снизить массу добавки, резко уменьшить склонность легированного чугуна к отбелу (табл. 1).

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

Влияние модифицирования на технологические свойства легированного чугуна

Содержание основных элементов, %				Тип модификатора	Добавка, %	Твердость, НВ	Отбел, мм
C	Si	Mn	Cr				
3,3	2,3	0,8	0,6	ФС-75	0,05	220	9
					0,1	215	7
					0,2	205	6
				ФС30P3M	0,05	200	8
					0,1	215	6
					0,2	210	5
				AK30P3M15	0,05	200	4
					0,1	215	2
					0,2	210	0
3,3	2,3	0,8	0,4	ФС-75	0,05	200	8
					0,1	195	6
					0,2	190	5
				ФС30P3M	0,05	195	6
					0,1	190	5
					0,2	185	4
				AK30P3M15	0,05	198	3
					0,1	195	1
					0,2	195	0
3,3	2,3	0,8	0,2	ФС-75	0,05	200	7
					0,1	190	6
					0,2	180	4
				ФС30P3M	0,05	190	4
					0,1	185	2
					0,2	180	0
				AK30P3M15	0,05	195	2
					0,1	185	0
					0,2	180	0

Скорость затвердевания является одним из решающих факторов в формировании конечной структуры чугуна в отливке. Измельчение зерна при возрастании скорости охлаждения приводит к существенному повышению механических свойств, однако при этом возрастает опасность кристаллизации чугуна по метастабильной диаграмме.

Для выявления более тонкой зависимости скорости охлаждения от толщины стенки отливки использовалась специальная разностенная ступенчатая проба. Чугун в данном случае заливали в сухие песчано-глинистые формы при температуре 1350°C и с помощью хромель-

алюмелевых термопар фиксировали скорость его охлаждения в сечениях 5, 12, 25 мм. Для экспериментов использовался обычный ваграночный чугун с содержанием хрома не выше 0,15%. Анализ экспериментов (табл. 2) показал, что при уменьшении толщины стенки в 5 раз отливка затвердевает в 7 раз быстрее.

Таблица 2

Влияние толщины стенки отливки на скорость охлаждения и твердость чугуна

№ п/п	Толщина стенки отливки, мм	Время охлаждения до 1000°C, с	Время охлаждения до 800°C, с	Твердость НВ*
1	5	20	32	230
2	12	63	100	205
3	25	130	190	185

* Измерялась при 20°C.

На эффективность модифицирования большое влияние оказывает также и время выдержки обработанного расплава в ковше перед заливкой. С возрастанием интервала между вводом присадки и заливкой металла в форму происходят гомогенизация расплава (исчезновение обогащенных графитизирующими элементами зон), распад образовавшихся зародышей графитизации, окисление активных элементов и вывод их в шлак, насыщение металла газами из воздуха и футеровки тигля. Негативное влияние времени выдержки модифицированного расплава в жидком состоянии на эффект модифицирования для различных сечений отливки показано в табл. 3.

Таблица 3

Влияние толщины стенки отливки, типа модификатора и интервала между вводом присадки и заливкой чугуна в форму на эффективность модифицирования

№ п/п	Толщина стенки отливки, мм	Тип модификатора	Твердость НВ при изотермической выдержке* расплава		
1	5	ФС-75	217	225	230
2		ФС30P3M30	212	216	222
3		АК30P3M15	195	200	202
4	12	ФС-75	210	217	220
5		ФС30P3M30	212	208	215
6		АК30P3M15	195	194	200
7	25	ФС-75	198	210	214
8		ФС30P3M15	185	195	205
9		АК30P3M15	185	193	198

* Интервал между вводом присадки и заливкой металла в форму обеспечивался выдержкой модифицированного расплава в теплоизолированном ковше при температуре 1340 – 1350°C.

Из приведенных данных видно, что наиболее эффективен комплексный модификатор. Его применение позволяет полностью устранить отбел даже в высоколегированном хромом чугуна. В среднелегированных чугунах, пригодных для отливок тонкостенных деталей, величина присадки может быть снижена до 0,05 %, что уже позволит снизить отбел до приемлемых значений 0 – 3 мм по клиновой пробе. Применение КЛМ позволяет за счет легирования металлической матрицы избыточным алюминием повышать однородность механических свойств в различных сечениях отливки.

Кроме того, применение КЛМ позволяет резко повышать результативность ковшевого модифицирования (в ковшах вместимостью 10 – 20 кг) за счет использования эффекта поздней обработки расплава – непосредственно перед заливкой формы. В этом техпроцессе на усвоение присадки отводится 15 с. Применение КЛМ позволило также разработать процесс внутриформного модифицирования литыми вставками. Данная технология использует преимущества эффекта супермодифицированного состояния; так, время между усвоением присадки и затвердеванием отливки сокращено до 5 – 15 с.

Для повышения эффективности комплексных легкоплавких модификаторов и при разработке их ввода большое внимание должно быть уделено технологии их производства и подготовки [2], гранулометрическому и химическому составу.

Применение присадки, содержащей 25% Si, 12% PЗМ, 2% Cu, 2% Mg (ТУ 205 БССР 832 – 87), позволило резко снизить брак по отбелу при производстве тонкостенных отливок (до 3 мм) при литье в кокиль на предприятиях местной промышленности. Процесс внутриформного модифицирования литыми вставками был опробован и дал положительные результаты при ликвидации кромочного отбела на корпусных отливках ПО МТЗ. Разработанная технология позднего модифицирования КЛМ была использована при отливке тонкостенных фасонных деталей рабочих колес насосов К20/30 – К90/35.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Худокормов Д. Н.* Производство отливок из чугуна. – Мн.: Выш. шк. – 1987. – С. 57 – 65.
2. *Андреев Г. Ф., Худокормов Д. Н., Шейнерт В. А., Никифоров А. А.* Исследование особенностей позднего модифицирования чугунов и разработка способов подготовки модификаторов. – Мн.: Выш. шк. – 1980. – С. 60 – 63.