



In the article there are examined the new methods of the out-of-furnace processing. The regimes of processing, the applied modifiers are described. The practical achievements in the field of technology of the high-quality alloys production are reflected.

С. Н. ПРИМЕРОВ, В. П. ПЛОТНИКОВ, В. Ф. ХАРИН, В. Б. ВИХЛЯЕВ,
А. В. ЖИДКОВ, Н. Н. КУКУШКИН, ЗАО "НПО БКЛ", Россия

УДК 621.74

БЕСКРЕМНИЕВЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ЛИГАТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ И ДРУГИХ СПЛАВОВ

Дальнейший прогресс в мировой металлургии, особенно в области литейного производства, неразрывно связан с разработкой высокоэффективных комплексных присадок (раскислителей, модификаторов, лигатур). Это объясняется непрерывно развивающейся внепечной металлургией, когда многие технологические операции (раскисление, рафинирование и модифицирование) совмещаются с легированием или микролегированием и переносятся из плавильной печи в разливочный ковш. В этом случае разливочный ковш приобретает роль самостоятельного агрегата, выполняющего ряд функций, во многом определяющего качество выплавляемого металла и в конечном итоге срок эксплуатации изготовленных из него металлоизделий.

Вместе с тем анализ известных отечественных и зарубежных ферросплавов, раскислителей-модификаторов и комплексных лигатур показывает, что они имеют существенные недостатки, связанные с наличием в их составе кремния и довольно низким содержанием таких элементов, как кальций, редкоземельные металлы, ванадий, ниобий и др. Главным недостатком является то, что они не содержат в своем составе комплекс указанных элементов.

В связи с этим разработка новых бескремниевых комплексных лигатур (БКЛ) является актуальной задачей в металлургии.

Теоретически необходимость создания бескремниевых присадок подтверждается открытием С.М. Баранова, в котором доказывается исключительно вредное влияние монооксида кремния на свойства стали. Кроме того, при обработке жидкой стали кремнийсодержащими присадками в ее структуре появляется большое количество различных силикатов, отрицательно влияющих на весь уровень механических характеристик стали.

Так как в литейном производстве России большое количество стали выплавляется в электропечах с кислой футеровкой и разливается в кислые разливочные ковши, подтверждается вывод о целесообразности разработки новых БКЛ.

Следует также отметить, что в промышленности применяются стали и сплавы без кремния. В частности, на ОАО "Ижорские заводы" осваивается производство качественной роторной стали, в которой содержание кремния ограничивается самыми низкими величинами. Принципиально новые БКЛ разработаны в результате исследований стали и сплавов различных структурных классов и назначения. Некоторые составы БКЛ приведены в табл.1.

Таблица 1. Составы БКЛ (на основе никеля)

Марка БКЛ	Содержание элементов, мас. %			
	алюминий	кальций	РЗМ	другие элементы
АКЦе	5-25	5-15	10-30	
АКЦеТ	10-30	10-15	5-30	Титан 10-20
АКЦеФ	5-30	10-15	10-30	Ванадий 5-30
АКЦеВ	10-30	10-15	10-30	Ниобий 5-20
АКЦеР	5-15	10-15	20-30	Бор 1-5
АКЦеТФ	15-25	5-15	10-30	Титан 0,5-9,0 Ванадий 0,5-3,0
АКЦеД	5-30	5-15	5-30	Медь 5-15

Новые БКЛ одновременно с глубоким раскислением, рафинированием и модифицированием структуры обеспечивают обрабатываемым сплавам микролегирование, что в итоге приводит к резкому повышению механических и эксплуатационных свойств, особенно пластичности, ударной вязкости

при обычной и отрицательной температурах испытаний (хладостойкости), усталостной прочности.

При этом в ряде случаев свойства литого металла достигают деформированного варианта его изготовления, например, проката и даже металла, полученного электрошлаковым переплавом (табл. 2).

Таблица 2. Влияние БКЛ на пластичность и ударную вязкость стали

Марка стали	Вид металла	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²
40ХНМЛ	Исходный	6,2	16,3	30
	Литой модифицированный	14,5	42,4	87
	Прокат	12	55	100
12Х18Н9ТЛ	Исходный	30,2	40,1	180
	Литой модифицированный	67,8	72,5	420
	Прокат	46–47	66–80	250–380

Таблица 3. Влияние БКЛ на хладостойкость стали

Марка стали	Вид металла	Ударная вязкость, Дж/см ² , при температуре испытаний, °С		
		+20	-20	-50
20ХЛ	Исходный	91	50	32
	Модифицированный	132	115	95
08ГДНФЛ	Исходный	135	48	28
	Модифицированный	223	82	82

Как видно из табл. 3, модифицирование стали марок 20ХЛ и 08ГДНФЛ новой лигатурой приводит к повышению ударной вязкости при отрицательных температурах испытаний (хладостойкости) в 2–3 раза по сравнению со сталью, выплавленной по серийной технологии.

Высокая эффективность новых лигатур открывает реальную перспективу замены высоколегированных марок стали на менее легированные, т.е. более дешевые без снижения качества и долговечности изготовленных из нее деталей. Учитывая ограниченность природных ископаемых и возрастающую дефицитность легирующих металлов (хром, никель, молибден и др.), рассматриваемый аспект имеет большое экономическое значение.

Новые БКЛ прошли всестороннее опробование на предприятиях ряда отраслей промышленности. Накануне распада Союза производилось ежегодно до 100 т новых лигатур для Запорожского моторостроительного завода, ХТЗ, Ленинградского арматурного завода, Навоийского горно-металлургического комбината и других предприя-

тий. С распадом Союза их производство прекратилось.

В качестве примера приведем результаты внедрения новой БКЛ (марка АКЦе) на ПО "Пензтяжпромарматура" при изготовлении крупных (свыше 10 т) отливок крышек для атомных установок и нефтегазового оборудования.

Одним из главных требований, предъявляемых к этим отливкам, является заданный уровень ударной вязкости при обычной и особенно низких температурах испытаний (хладостойкости).

Только применение БКЛ позволило решить эту задачу с большим экономическим эффектом. Обработка расплава БКЛ при выпуске из печи в разливочный ковш вместо алюминия силикокальция и ферроцерия (по действующей технологии) обеспечила требуемый уровень и высокую стабильность механических свойств стали 20ГМЛ, снижение расхода лигатур и раскислителей на 4,2 кг на 1 т жидкого металла, увеличение выхода годного и снижение брака по литейным дефектам на 6–10 %.

По эффективности влияния на хладостойкость (-60°C) БКЛ превосходят кремнесодержащий раскислитель ФС30РЗМ20 совместно с алюминием на 30% и в 2 раза совместную добавку из алюминия, силикокальция и ферроцерия, а также лигатуру СЦеМИШ-3. Так, величина ударной вязкости при -60°C стали 20ГМЛ в первом случае, т.е. после введения БКЛ, составляла 16 Дж/см², тогда как при последних вариантах соответственно 12,6 и 7,0 Дж/см².

Для возрождения производства новых лигатур опытно-промышленное опробование проводили в условиях ОАО "Ижорские заводы", ОАО "Калужский турбинный завод" и др. На ОАО "Ижорские заводы" целью проверки было повышение ударной вязкости стали GS32CrNiMo64V особенно при низких температурах испытаний при сохранении других механических свойств на требуемом уровне. Все контрольные опытные плавки стали подтвердили высокую эффективность БКЛ. Величина ударной вязкости модифицированной стали при -40°C достигла 60–70 Дж/см², в то время как для стали, выплавленной по действующей технологии, ее величина не превышала 30 Дж/см². При этом удалось избавиться от брака отливок по горячим трещинам и заметно увеличить жидкотекучесть расплава.

На ОАО "Калужский турбинный завод" исследовали влияние БКЛ на механические свойства стали 15Х1М1ФЛ, из которой изготавливают отливки паровых турбин с повышенными требованиями по прочности и пластическим свойствам. При незначительном повышении прочности ударная вязкость этой стали, обработанной 0,25% БКЛ, увеличилась в 2 раза по сравнению со сталью серийных плавов.

С целью расширения области применения новых БКЛ исследовали влияние на структуру и свойства сплава ЗМИ-3У лигатуры, дополнительно содержащей иттрий. Микроструктура сплава в литом состоянии — γ -твердый раствор (46–48%), упрочненный в основном интерметаллидной, а также карбидной и карбонитридной фазами. Распределение интерметаллидной фазы — неоднородное, с различной степенью дисперсности. Относительно небольшое количество карбидов и

карбонитридов располагается в междендритных пространствах и по границам зерен. Морфология их различна: от дисперсных правильной формы, располагаемых в матрице сплава, до пластинчатых, вытянутых вдоль границ зерен. После модифицирования микроструктура сплава более однородна, границы зерен заметно очищаются от примесей.

Испытаниями на длительную прочность образцов в термообработанном состоянии из сплава ЗМИ-3У, модифицированного 0,1% АКЦе, установлено, что при 900°C и нагрузке 250 МПа время до разрушения в 2 раза превышает требования ТУ и составляет >200 ч. Кратковременные испытания образцов при 800°C показали, что в термообработанном состоянии сплав имеет $\sigma_b = 1010$ МПа, $\delta = 4,5\%$.

Металлографические исследования показали, что макроструктура исходного сплава в литом состоянии характеризуется довольно крупными зернами, а после обработки 0,1% лигатуры зерно измельчается и, что особенно важно, снижается разнотекучность структуры. После модифицирования более дисперсное строение приобретает и излом образцов (излом исходного сплава имеет крупнокристаллическое, дендритное строение).

Высокая эффективность БКЛ определяет практически неограниченную перспективу их производства для отечественной и зарубежной металлургии. Технологический процесс производства БКЛ отличается простотой, надежностью, экологичностью и является безотходным, что ставит его в ряд высоких приоритетных технологий мирового уровня.

Организация производства БКЛ внесет значительный вклад в ферросплавную промышленность. Так, отпадает необходимость производства кремнесодержащих комплексных раскислителей и модификаторов, по эффективности значительно уступающих БКЛ. На базе новых лигатур открываются перспективы изготовления качественных сварочных электродов, наплавочных материалов, флюсов и различных порошков, крайне необходимых для ряда отраслей промышленности, особенно строительства, машиностроения и железнодорожного транспорта.