

40 лет ИТМ НАН Беларуси

В. Ю. СТЕЦЕНКО, А. П. ГУТЕВ, В. В. НОВИКОВ,
ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74:669.14.2/8

ВЛИЯНИЕ СИЛУМИНОВОГО РАСКИСЛИТЕЛЯ– МОДИФИКАТОРА НА СТРУКТУРУ СТАЛЬНЫХ СЛИТКОВ

It is shown that introduction of structural-superfine silumin deoxidizer-modifier allows to decrease the quantity of input into liquid steel lump and tribe-hardware deoxidizers more than by 30%, to reduce the defects of ingots by liquating stripes half, to reduce the content of sulphur in steel by 11–26% and of phosphorus by 12–42% and also to grind the steel grade 2–8 times as much.

В настоящее время при внепечной обработке качественных сталей для их раскисления в основном применяют алюминий. Для модифицирования используют силикокальций, который чаще всего вводят в виде порошка в трайб-аппаратной проволоке. Широко применяется осаждающее раскисление, при котором алюминий непосредственно вводят в жидкий металл. При раскислении чушками наблюдается высокий угар от 50 до 90% и нестабильное содержание алюминия в стали [1]. Поэтому перед разливкой металла проводят дораскисление жидкой стали алюминиевой катанкой. Перспективным способом улучшения свойств выплавляемой стали является совмещение операции раскисления с модифицированием стали путем введения структурно-высокодисперсных силуминов [2,3]. Повысить эффективность раскисления жидкой стали без изменения технологии выплавки можно путем увеличения раскисляющей способности раскислителя за счет увеличения дисперсности его микроструктуры. Для достижения модифицирующего эффекта раскислителя в его составе должны присутствовать модифицирующие добавки, такие, как кальций или магний. В Институте технологии металлов НАН Беларуси разработана технология литья алюминиево-кремниевых сплавов, позволяющая получать отливки с высокодисперсной микроструктурой [4]. Данная технология была применена для получения структурно-высокодисперсного силуминового раскислителя-модификатора (СРМ).

Для улучшения непрерывнолитой стали, выплавляемой на РУП «Белорусский металлургический завод», в Институте технологии металлов НАН Беларуси разработаны СРМ, содержащие Si и Mg (СРМ-1) и Si, Mg, Ca и Ti (СРМ-2) [5]. Эффективность раскисления стали при внепечной обработке зависит не только от состава раскислителя, но и от способа его ввода в расплав. Присадка СРМ в расплав стали, как и чушкового алюминия, осложняется значительной разностью их плотностей, что приводит к его всплыванию. Из-за высокой активности алюминия большая его часть угорает. Для повышения усвоения жидкой сталью лигатуру СРМ-1 присаживали по заводской технологии под струю металла при сливе из печи в сталь-ковш, а СРМ-2 вводили по принципу сэндвич-процесса.

Лигатуру СРМ-1 получали литьем в кристаллизатор со струйной системой охлаждения, что позволяет измельчать все фазовые составляющие микроструктуры. Это повышает раскисляющую способность СРМ-1, а модифицирующие добавки измельчают зерно



Стеценко В. Ю.



Гутев А. П.



Новиков В. В.

стали. Для повышения эффективности растворения СРМ-1 отливки были утяжелены стальным грузом, расположенным в центре отливок. Опытную партию СРМ-1 в количестве 205 кг получали в виде отливок диаметром 120 мм и высотой 220 мм.

Для ввода СРМ-2 в сталь-ковш сэндвич-процессом было изготовлено устройство, состоящее из двух стальных листов в форме квадрата со сторонами 1500 мм и толщиной 20 мм каждый. Масса СРМ-2, без устройства его ввода в жидкий металл, составляла 200 кг. Его выплавляли на основе вторичного силумина в индукционной электропечи емкостью 50 кг. Далее этим расплавом заполняли сегменты на нижнем стальном листе. Для измельчения микроструктуры СРМ-2 применяли наследственное модифицирование путем добавления в плавку 30% мелкокристаллической шихты. В качестве мелкокристаллической шихты использовали силуминовые заготовки диаметром 70 мм и высотой 200 мм, полученные литьем закалочным затвердеванием [6].

Опыты по внепечной обработке проводили на стали марки 32Г2-2 в ЭСПЦ-2 РУП «БМЗ». Обработку расплава силуминовыми лигатурами проводили на выпуске жидкой стали из печи в сталь-ковш. Температура в сталь-ковше перед выпуском металла из печи составляла в среднем 950 °С.

СРМ-1 вводили в количестве 205 кг в виде отливок, в среднем по 8 кг каждая, присаживая в сталь-ковш по склизу под струю металла. СРМ-1 вводили после заполнения сталь-ковша на 1/4. Общая масса раскисляемой стали составляла 112 т. Полезная масса раскислителя не превышала 145 кг, а 30% общей массы СРМ-1 приходилось на стальной груз, расположенный в центре отливок. После ввода СРМ-2 дальнейшую внепечную обра-

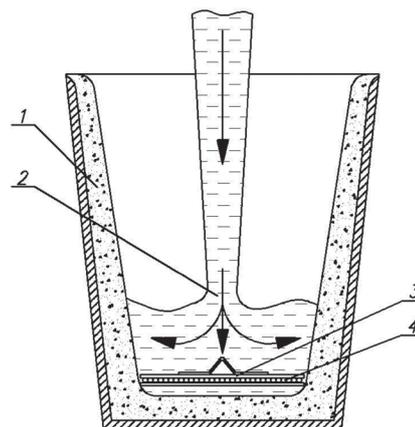


Рис. 1. Схема раскисления стали в 100-тонном сталь-ковше: 1 – сталь-ковш; 2 – жидкая сталь; 3 – устройство ввода раскислителя; 4 – СРМ-2

ботку расплава проводили по заводской технологии.

Ввод СРМ-2 осуществляли по схеме, показанной на рис. 1. Раскислитель с устройством его ввода помещали на дно предварительно прогретого сталь-ковша за 5 мин перед выпуском расплава из печи. Такой способ ввода позволяет защитить раскислитель от преждевременного расплавления, а гидродинамический поток струи металла, ударяясь о верхний лист устройства, удерживает СРМ-2 на дне сталь-ковша. Заполнение сталь-ковша длилось 4 мин.

Плавку по обычной заводской технологии маркировали № 1, плавки с обработкой СРМ-1 и СРМ-2 – № 2 и 3 соответственно. Химический состав опытных плавки стали 32Г2-2 после раскисления и наведения шлака приведен в табл. 1.

Расход материалов при трайб-аппаратной обработке расплава стали в печь-ковше по экспериментальным плавкам приведен в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав опытных плавки стали 32Г2-2

Номер плавки	Содержание элементов, %						
	C	Si	Al	Mn	Ti	P	S
1	0,2375	0,2379	0,0214	1,1821	0,0011	0,0193	0,0424
2	0,265	0,2261	0,0207	1,2505	0,0014	0,0172	0,0374
3	0,293	0,2791	0,0469	1,3275	0,0021	0,0143	0,0247

Таблица 2. Трайб-аппаратная обработка расплава стали в печь-ковше

Номер плавки	Наименование материала	Количество, кг
1	Al катанка	75,24
	ПР, СК40, ТГ	93,05
	ПР, ГР, ТГ	131,89
2	Al катанка	49,59
	ПР, СК40, ТГ	93,09
	ПР, ГР, ТГ	79,92
3	Al катанка	11,97
	ПР, СК40, ТГ	90,91
	ПР, ГР, ТГ	0

Т а б л и ц а 3. Результаты макроструктурного анализа горячекатаных заготовок

Номер плавки	Номер образца	Макроструктура, ГОСТ 10243, балл									
		ЦП	ТН	ЛК	ОПЛ	КПЛ	ПЛ	МТ	ПП	ЛП Балл/длина, мм, %, заporоченности по сечению	СП
1	1	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0	0	0	0
	2	1,0	0,5	0	0	0	1,0	0	0	0,5/3 = 50	0
2	1	0,5	0,5	0	0	0	1,5	0	0	0	0
	2	0,5	0,5	0	0	0	1,0	0	0	0,5/4 = 25	0
3	1	0,5	0,5	0	0	0	1,0	0	0	0	0
	2	0,5	0,5	0	0	0	0,5	0	0	0,5/4 >25	0

Пр и м е ч а н и е. ЦП – центральная пористость; ТН – точечная неоднородность; ЛК – ликвационный квадрат; ОПЛ – обшая пятнистая ликвация; КПЛ – краевая пятнистая ликвация; ПЛ – подусадочная ликвация; МТ – межкристаллитные трещины; ПП – подкорковые пузыри; ЛП – ликвационные полосы; СП – светлые полосы.

Т а б л и ц а 4. Результаты оценки загрязненности стали неметаллическими включениями

Номер плавки	Номер образца	А		В		С		D	
		тонкие	толстые	тонкие	толстые	тонкие	толстые	тонкие	толстые
1	1	1,5	0,5	0	0	0	0	0,5	0
	2	1,5	1	1	1	0	0	0,5	0
	3	1,5	1	0	0	0	0	0,5	0,5
	max	1,5	1	1	1	0	0	0,5	0,5
2	1	1,5	0,5	1,5	0,5	0	0	0,5	0
	2	1,5	0,5	0	0	0	0	0,5	0
	3	1,5	0,5	0,5	0,5	1,5	2	0,5	0
	max	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	2	0,5	0
3	1	1,5	0,5	0	0	0	0	0,5	0
	2	1,5	0,5	1	0	0	0	0,5	0
	3	1,5	1	0	0	0	0	0,5	0
	max	1,5	1	1	0	0	0	0,5	0

Из таблицы видно, что по сравнению с плавкой № 1 количество потребляемой алюминиевой катанки в плавках № 2 и 3 снизилось на 33 и 84% соответственно.

Для исследования макроструктуры из горячекатаных заготовок диаметром 140 мм были вырезаны по два темплета. ЦЗЛ РУП «БМЗ» проведена оценка макроструктуры темплетов по ОСТ 14-1-235-91 в сравнении со шкалами, используя метод снятия серных отпечатков по Бауману. Темплеты были протравлены в 50%-ном растворе соляной кислоты. Результаты оценки макроструктуры слитков приведены в табл. 3.

Согласно результатам металлографического анализа, макроструктура протравленных поперечных темплетов удовлетворительная, не имеет остатков усадочной раковины, рыхлости, подкорковых пузырей, расслоений, трещин и шлаковых включений.

Из табл. 3 следует, что макроструктуры опытных и обычных горячекатаных заготовок примерно равны и уменьшение алюминиевой катанки не ухудшает макроструктуру слитка. Введение СРМ-1 и СРМ-2 в количестве 0,2% от массы металла

в ковше позволило уменьшить заporоченность по ликвационным полоскам по сечению темплета с 50 до 25%.

Была проведена оценка загрязненности неметаллическими включениями по максимальному баллу для всех типов включений (А, В, С, D, толстые и тонкие) согласно ASTM E45 (метод D) (табл. 4). По ASTM E45 включения подразделяются на четыре категории по их морфологическим признакам и на две подкатегории по их ширине или диаметру. Категории определяют форму включений: А – сульфид, В – оксид алюминия, С – силикат, D – шарообразный оксид; подкатегории «толстый» и «тонкий» – их толщину. Из таблицы следует, что слитки опытной плавки, обработанные СРМ-1, более загрязнены силикатами, но в пределах допуска ТУ, а по содержанию других неметаллических включений примерно равны загрязненности слитков серийной плавки.

Для исследования микроструктуры слитков из горячекатаных темплетов диаметром 140 мм были вырезаны образцы. После шлифовки, полировки и травления 2%-ным раствором азотной кислоты

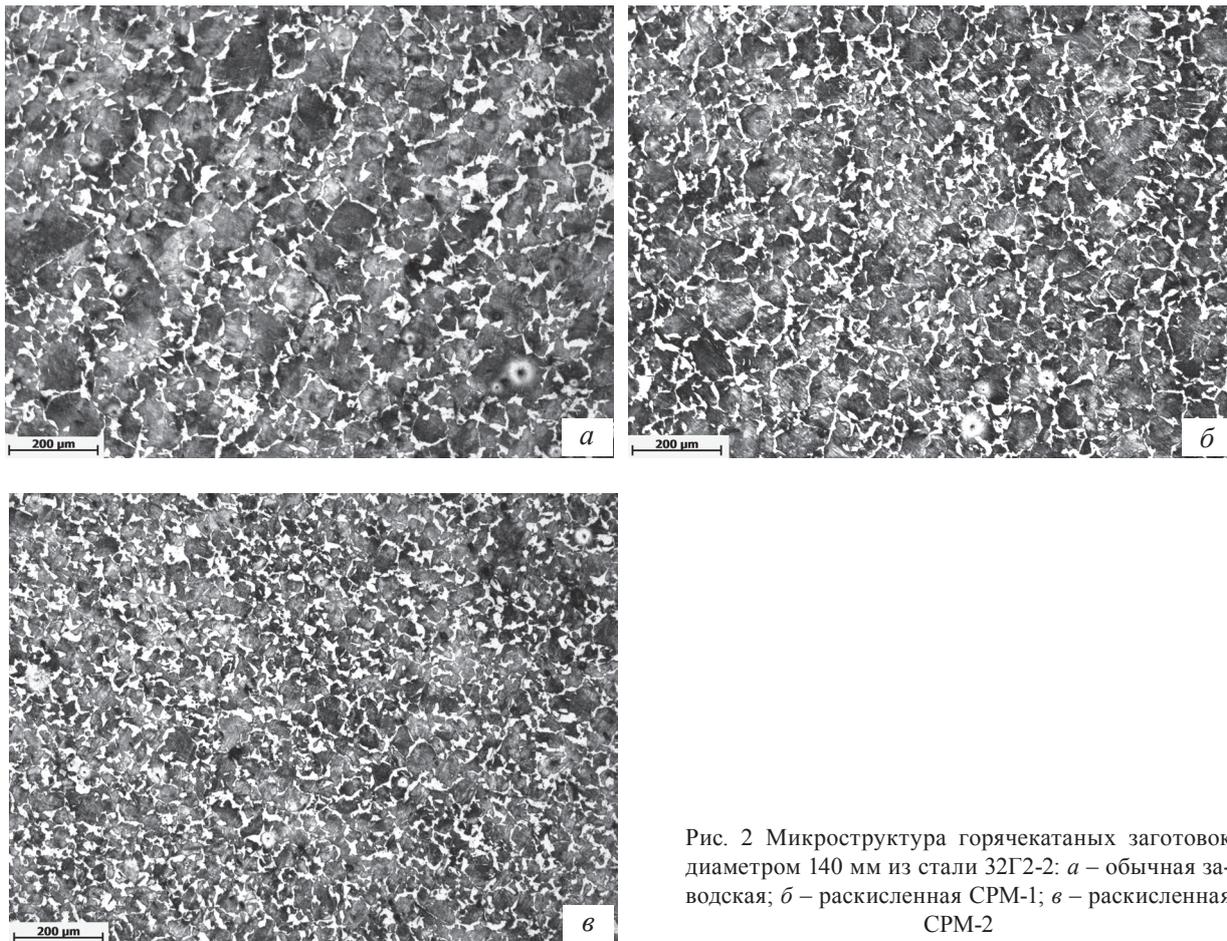


Рис. 2 Микроструктура горячекатаных заготовок диаметром 140 мм из стали 32Г2-2: *а* – обычная заводская; *б* – раскисленная СРМ-1; *в* – раскисленная СРМ-2

структуру микрошлифов исследовали методом металлографического сравнительного анализа с помощью аппаратно-программного комплекса на базе микроскопа «Carl Zeiss Axiotech vario». Микроструктура горячекатаных заготовок диаметром 140 мм, полученных по опытным и обычной заводской технологиям, показана на рис. 2. Из рисунка видно, что раскисление стали 32Г2-2 СРМ-1 по заводской технологии в количестве 0,02% от массы металла в сталь-ковше позволило измельчить размер зерна в 2–4 раза (рис. 2, *б*), а раскисление стали лигатурой

СРМ-2 сэндвич-процессом в количестве 0,02% от массы металла в сталь-ковше – в 6–8 раз (рис. 2, *в*).

Таким образом, установлено, что структурно-высокодисперсный силуминовый раскислитель-модификатор позволяет уменьшить количество вводимых в жидкую сталь кусковых и трайб-аппаратных раскислителей более чем на 30%, снизить запороченность слитков по ликвационным полоскам в 2 раза, содержание серы в стали на 11–26% и фосфора на 12–42%, а также измельчить размер зерна стали в 2–8 раз.

Литература

1. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь-ковш вне печи. Челябинск, 2006.
2. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., Гутев А. П., Андрианов Н. В., Маточкин В. А. Модифицированный силуминовый модификатор для непрерывной разливки стали на МНЛЗ // *Металлургия и литейное производство*. 2007. Беларусь: Тр. конф. Жлобин, 2007.
3. Стеценко В. Ю., Гутев А. П., Гацуро В. М., Вовся С. А. Сэндвич-процесс при модифицировании стали // *Металлургия и литейное производство*. 2007. Беларусь: Тр. конф. Жлобин, 2007.
4. Стеценко В. Ю., Радько С. Л. Литье силуминов в кокиль со струйной системой охлаждения // *Литье и металлургия*. 2006. № 2. С. 136–138.
5. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Модифицирование сплавов. Мн.: Белорусская наука, 2009.
6. Стеценко В. Ю., Радько С. Л. Улучшение структурной наследственности поршней из доэвтектического силумина АК5М7 // *Литье и металлургия*. 2005. № 2. Ч. 1. С. 127–128.