



*The technological peculiarities of the steel processing with powder-like complex deoxidizing agents on the basis of Ca+PЗМ are given.*

С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, В. В. ПИВЦАЕВ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ПОРОШКООБРАЗНЫМИ КОМПЛЕКСНЫМИ РАСКИСЛИТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ Ca+PЗМ

Одним из основных способов физико-химического воздействия на затвердевающую сталь, способствующих улучшению технологических и механических свойств в литом и деформированном состоянии, является модифицирование жидкой стали. По физико-химической природе воздействия на структуру кристаллизующейся стали различают модификаторы первого и второго рода. К модификаторам первого рода (инокуляторам) относятся тугоплавкие соединения, нерастворимые в жидкой стали. К модификаторам второго рода относятся растворимые в жидкой стали поверхностно-активные примеси, адсорбирующиеся из расплава на границе кристалл-расплав. Их действие сводится к увеличению скорости образования центров кристаллизации и снижению скорости роста кристаллов вследствие скопления этих примесей на их поверхности и повышения энергии активации обмена атомами между расплавом и кристаллом [1].

В качестве одного из видов модификаторов второго рода распространение в черной металлургии получают редкоземельные металлы или материалы, в состав которых входят редкоземельные металлы.

Влияние PЗМ на свойства стали может быть двойственным: благоприятным в связи с рафинированием и модифицированием и отрицательным при возникновении ряда специфических эффектов, связанных с перераспределением вредных примесей в микрообъемах с неполным всплыванием тугоплавких и трудно коагулирующих сульфидов и окисульфидов PЗМ. Таким образом, при модифицировании стали необходима тщательная оптимизация технологии исходя из конкретных условий производства и сортамента выплавляемых сталей. Следует также отметить, что по плотности PЗМ близки к плотности железа, чем обусловлено затрудненное удаление их соединений из железоуглеродистых расплавов [2].

Литературные источники [2,3] и описанные свойства PЗМ позволили определить возможность применения проволоки с наполнителем Ca+PЗМ на РУП «БМЗ».

1. В процессе производства кордовых марок и при обмывании первых стальнойкой, планируемых в серию, где разливался сортament марок сталей, раскисляемых алюминием. Целью является модификация корундовых включений, измельчение кристаллической структуры металла, снижение ликвационных процессов при кристаллизации металла на машинах непрерывной разливки, а также повышение качества макроструктуры катанки.

2. В процессе производства арматурных марок стали с последующей прокаткой в три-четыре нити диаметром 10–14 мм взамен применяемой силикокальциевой проволоки. Цель – снижение загрязненности годной продукции неметаллическими включениями и исключение отсортировки арматуры после прокатки на стане 320 из-за расслоений по причине наличия неметаллических включений, а также измельчение структуры металла и выполнение требований по механическим свойствам, особенно испытаниям арматуры на изгиб.

3. При производстве сталей машиностроительного назначения с целью модификации и удаления неметаллических включений, измельчение кристаллической структуры металла и снижение ликвационных процессов, повышение качества макро- и микроструктуры горячекатаной заготовки.

Производитель и поставщик материала марки ПП-13Б-36-347 – ОАО «Завод «Универсальное оборудование» (г. Донецк, Украина).

Химический состав поступившего опытного материала в виде порошковой проволоки с наполнителем Ca+PЗМ приведен в таблице.

Химический состав проволоки с наполнителем Ca+PЗМ

НД	Показатель, %						масса наполнителя, г/м
	Ca	PЗМ	Si	Mg	Al	$W_p$	
ТУ	10-12	10-12	40-45	1,0-1,5	3-4	—	320

В состав PЗМ входят следующие компоненты: Ce 50%, La 25%, (Pr+Nd+Sm) 25%.

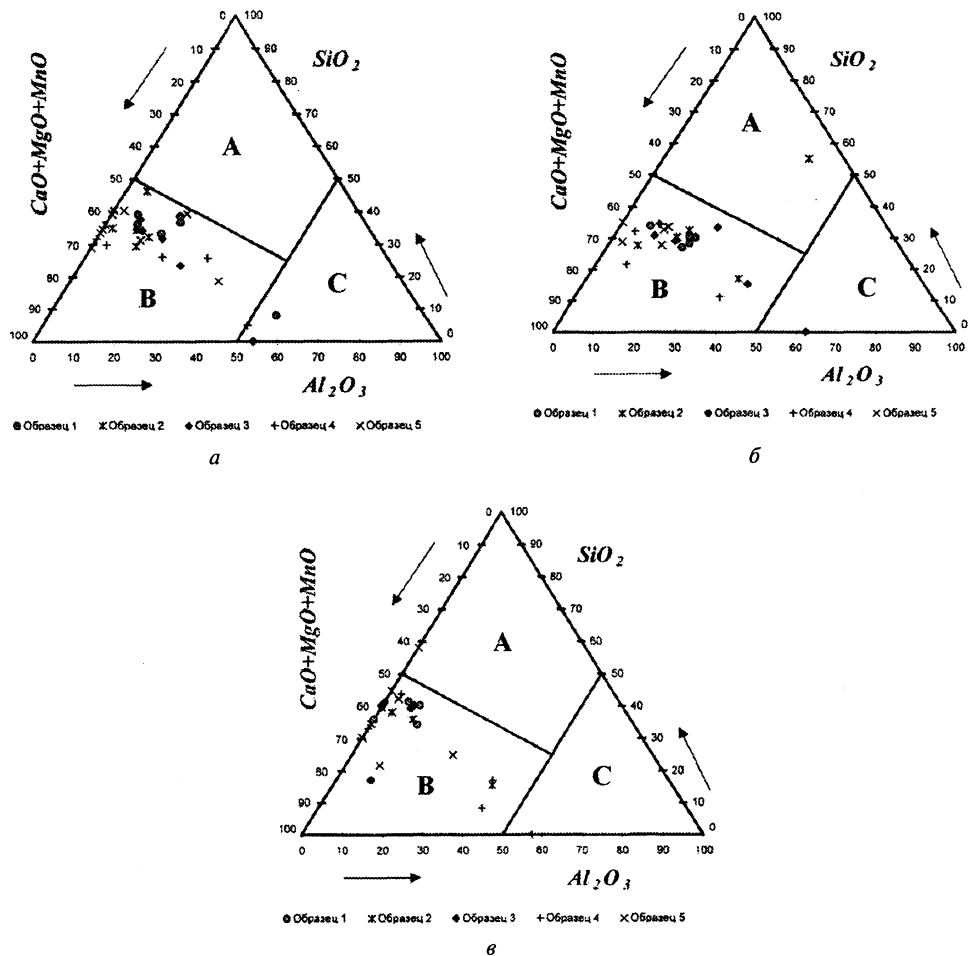
Этап 1. Производство кордовых марок стали

В первом случае при производстве кордовых марок стали опытный модификатор вводили на четырех плавках стали марки 70К. Ввод проволоки осуществляли на конечной стадии внепечной обработки перед передачей стальной струны с металлом на МНЛЗ в количестве 16 кг (0,14–0,15 кг наполнителя на 1 т жидкой стали) соответственно при температуре 1511–1535 °С. Содержание активного кислорода до присадки проволоки Ca+PЗМ колебалось от 9,4 до 22,4 ppm, а после присадки стабилизировалось и поддерживалось на уровне 5,1 ppm. Скорость ввода проволоки на всех плавках составляла 3,1 м/с. Металл четырех плавок разливали с защитой струи от вторичного окисления, далее прокатывали с последующим отбором проб для оценки макроструктуры катанки диаметром 5,5 мм. Оценку проводили по методике заводских технических условий, где отмечено, что уровень ликвации соответствовал уровню плавки штатной технологии и поддерживался в пределах 1,5–3,5 баллов. Оценка уровня загрязненности стали неметаллическими включениями методом построения тройных диаграмм показала допустимый уровень плотности включений, который составил от 152 до 194 вкл/см<sup>2</sup> (на сравнительных плавках средний уровень 180 вкл/см<sup>2</sup>), а также наличие на всех опытных плавках включений в зоне С плотностью от 6 до 18 вкл/см<sup>2</sup>. Сравнительные плавки практически не имеют трудно деформируемых включений в зоне С. На рисунке показаны треугольные диаграммы, построенные по результатам оценки загрязненности с помощью электронного микроскопа.

На тройной диаграмме в зоне С находятся включения, содержащие компонент Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, который составляет более 50%. Наличие таких корундовых включений в кордовой стали негативным образом влияет на технологичность их передела на металлокорд, в связи с чем дальнейшие испытания на кордовых сталях были прекращены. В настоящей работе мы не будем подробно описывать механизм образования включений, но, по нашему мнению, он связан, прежде всего, с более сильной раскислительной способностью таких компонентов, как кальций, церий и другие PЗМ, по сравнению с алюминием.

Этап 2. Производство арматурных марок стали

Во втором случае испытания проводили на трех опытных плавках стали марки СтЗсп. Производство опытных плавок проводили согласно действующей технологии за исключением конеч-



Тройные диаграммы распределения неметаллических включений: а – плавка № 31597; б – плавка № 31599; в – плавка № 31600

ной стадии. В конце внепечной обработки, перед передачей плавки на МНЛЗ, присаживали опытную проволоку с комплексным наполнителем Са+РЗМ в количестве 0,14–0,15 кг/т. При разливе опытных плавок наблюдалось зарастание дозаторов неметаллическими включениями на основе корунда, что указывает на неудовлетворительно проведенный процесс модификации и удаления включений, которые в процессе разлива отлагались на стенках дозаторов. Дальнейшие испытания были прекращены из-за угрозы остановки и срыва производственного графика. При анализе качественных характеристик металлопроката опытных и сравнительных плавок по стандартной технологии существенных отличий не выявлено.

### Этап 3. Производство сталей машиностроительного назначения

При производстве стали марки 42Cr4Mo2 машиностроительного назначения для фирмы «Tata Motors» (Индия) для изготовления коленчатых валов автомобилей одно из главных требований – высокая чистота содержания неметаллических включений, в связи с этим горячекатаные заготовки подвергаются многочисленным лабораторным испытаниям. Наиболее затруднительным моментом выполнения требований индийского стандарта SS4027 является получение уровня сульфидных включений толстой группы не более 1,5 балла. Самое эффективное средство снижения загрязненности сульфидными включениями – проведение глубокой десульфурации стали до уровня содержания серы не более 0,010%. Однако, согласно требованиям стандарта SS4027, содержание серы в готовой продукции ограничено не только верхними значениями, но и нижними – 0,020–0,035%, поэтому сера вводится в жидкую сталь как легирующий элемент в виде проволоки с порошковым наполнителем из серы технической ( $S \geq 98\%$ ).

Согласно предположению, основанному на литературных данных [1], применение материала (Са+РЗМ) позволяет изменять состав и морфологию включений, особенно сульфидных, так как элементы, входящие в состав группы РЗМ (например церий), имеют высокое сродство к сере. Предварительно были проведены две опытные плавки: № 32192 и 32193. При внепечной обработке стали марки 2C45 на конечной стадии присаживалась опытная проволока в количестве 0,10 кг/т. После микроанализа горячекатаных заготовок в лаборатории ЦЗЛ отмечено, что средний балл сульфидных включений (толстой группы) составил: на плавке № 32392 – 1,5, а на плавке 32393 – 1,25. Оценку осуществляли по стандарту SS4027 согласно ASTM E45, шкала JK, метод A/IS4163, где полученные результаты удовлетворяли требованиям стандарта, получено не более 1,5 балла. Аналогичное действие было отмечено и на плавках марки 42Cr4Mo2. Так, средние баллы включений поплавоочно составили.

### С использованием Са+РЗМ

Номер плавки	Балл
33002	0,7
33003	1,0
33004	0,8
33005	0,8
33006	0,7
33345	1,0
33346	1,0

### Сравнительные

Номер плавки	Балл
31390	1,5
31391	1,3
31392	1,7
31394	1,7
31395	1,7
31564	1,6
31565	1,9
31566	1,5
31567	1,0
31568	1,8
31569	2,0

Опытные данные показывают эффективное действие проволоки с комплексным наполнителем Са+РЗМ, происходит измельчение структуры сульфидных включений. Однако при испытаниях на синеломкость на всех плавках отмечены неудовлетворительные результаты, причем наличие включений отмечалось до 10 образцов из 10 отобранных. Такая ситуация была воспроизведена на двух сериях плавок, проводимых в разное время с одинаковым результатом, поэтому в дальнейшем, несмотря на положительные результаты по снижению уровня загрязненности сульфидами, использование наполнителя Са+РЗМ было прекращено. Впоследствии было найдено другое технологическое решение проблемы рафинирования стали от включений как сульфидных, так и других типов, обеспечивающее необходимую чистоту металла в соответствии с требованиями потребителей, но при этом редкоземельные металлы не использовались. Отличий в макроструктуре горячекатаных заготовок, плавок по штатной технологии и плавок с использованием опытного наполнителя не выявлено.

### Выводы

Влияние редкоземельных металлов на качественные характеристики стали в настоящее время еще не полностью изучено. Производственно-технологические испытания показали, что с помощью дополнительного раскисления жидкого расплава на конечной стадии внепечной обработки можно влиять на морфологию и состав неметаллических включений, однако в процессе работы были выявлены и негативные факторы. Следует также отметить, что схожее влияние на качественные характеристики готовой продукции возможно получать и более традиционными способами воздействия на жидкую сталь. По результатам проведенной работы дальнейшее использование материалов с РЗМ на РУП «БМЗ» было признано нецелесообразным.

### Литература

1. Коновалов Р.П., Титова Т.М., Малиночка Я.Н. Модифицирование углеродистой стали // Сталь. 1985. № 5. С. 29–35.
2. Дюдкин Д.А., Бать С.Ю., Гринберг С.Е. и др. Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками. Донецк: Юго-Восток, 2002.
3. Зинченко В.Г., Рошин В.Е., Мальков Н.В. Влияние технологии модифицирования на содержание и распределение вредных примесей в кузнечных слитках // Электрометаллургия. 2007. № 2. С. 11–15.