



*There is developed and introduced the new technology of cord steels production with metal processing by slags of certain constitution and carbon deoxidation at vacuum degassing, that allowed to reduce the pollution of steel with nonmetallics.*

В. В. ЭНДЕРС, М. П. ГУЛЯЕВ, Д. С. ЯКШУК, В. В. ПИВЦАЕВ, В. Ю. ГУНЕНКОВ, РУП «БМЗ»

УДК 669.187

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМА РАСКИСЛЕНИЯ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОРДОВОЙ СТАЛИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОКИСЛЕННОСТИ МЕТАЛЛА

Чистота высокоуглеродистой стали для металлокорда по оксидным неметаллическим включениям коренным образом определяет технологичность переработки катанки и качественные характеристики готового изделия.

Понятие «чистота» стали применительно к кордовому металлу значительно сложнее, чем просто общая загрязненность ее неметаллическими включениями или содержание кислорода и серы. В данном случае важное значение приобретают размер, форма, состав (отсутствие включений, обогащенных  $Al_2O_3$ ) и распределение неметаллической фазы.

Особое внимание должно быть уделено уменьшению плотности и размеров включений, учитывая, что минимальная толщина проволоки может оказаться соизмеримой с размерами включений.

Задача дополняется тем, чтобы включения были легкодеформируемыми в процессе прокатки.

В общем случае загрязненность кордовой стали неметаллическими включениями определяет частоту нарушений технологических параметров, в первую очередь частоту обрывов проволоки. Характерный вид обрывов проволоки из-за наличия включений оксида алюминия приведен на рис. 1.

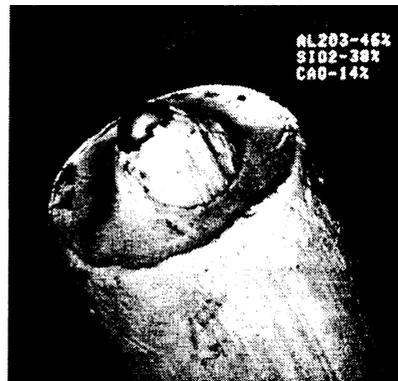
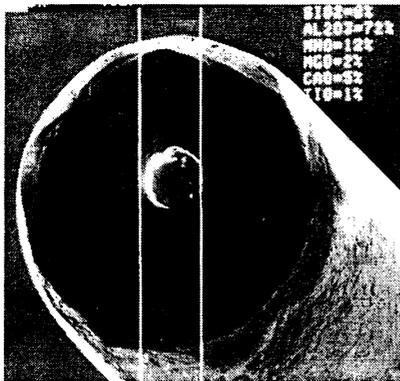


Рис. 1. Обрывы типа «неметаллическое включение»

Можно выделить следующие основные мероприятия по улучшению качества кордовой стали:

- углеродное раскисление металла при вакуумировании и легирование на конечной стадии внепечной обработки;
- обработка стали шлаками с определенными физико-химическими свойствами;
- исключение огнеупоров и добавочных материалов с высоким содержанием глинозема и алюминия во всех процессах производства начиная от выплавки и заканчивая непрерывной разливкой;
- модифицирование неметаллических включений щелочноземельными металлами (вопрос дискуссионный).

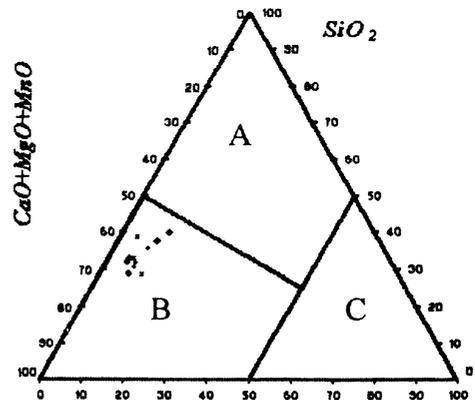


Рис. 2. Диаграмма состояния оксидных неметаллических включений

Анализ требований производителей металлокорда к качеству металла по неметаллическим включениям показывает, что каждая фирма разрабатывает их самостоятельно в зависимости от условий и опыта своего производства. Так, например, фирма «Векаегт» оценку чистоты металла проводит методом подсчета штрафных очков в зависимости от количества и размера включений. Осматривается весь образец (12 шт. на плавку) и отмечаются участки с наибольшим количеством и толщиной включений, балл оценивается по шкалам фирмы. Неметаллические включения подсчитываются на 100 бунтах как в продольном направлении вытяжки металла, так и в поперечном сечении. Максимально приемлемый уровень деформируемых включений до 10 баллов PPS, недеформируемых включений до 150 PPS, включений титана до 45 PPS, включений в поперечном сечении до 90 PPS; фирма «Pirelli» основывается на подсчете плотности включений разного типа на 1 см<sup>2</sup> в поперечном сечении на пяти образцах от плавки. Плотность включения поля А-В-С (рис. 2) с размерами > 1 мкм должна быть не более 1000 вкл/см<sup>2</sup>, включения с содержанием оксида алюминия менее 50% в полях А и В не должны превышать 30 мкм, а плотность включений с содержанием оксида алюминия более 50% в поле С не должна превышать 20 вкл/см<sup>2</sup>; фирма «Michelin» проводит оценку качества чистоты металла методом подсчета условного индекса I в среднем на бунт. Учитываются недеформируемые включения более 5 мкм, делятся на классы в зависимости от размера, суммируются с поправочным коэффициентом и делятся на площадь образцов (шесть от партии). Значение индекса не должно превышать 10.

На РУП «БМЗ» оценку загрязненности кордовой стали осуществляют по методике фирмы «Pirelli» с построением тройных диаграмм. На рис. 3 представлена тройная диаграмма состояния SiO<sub>2</sub> - CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

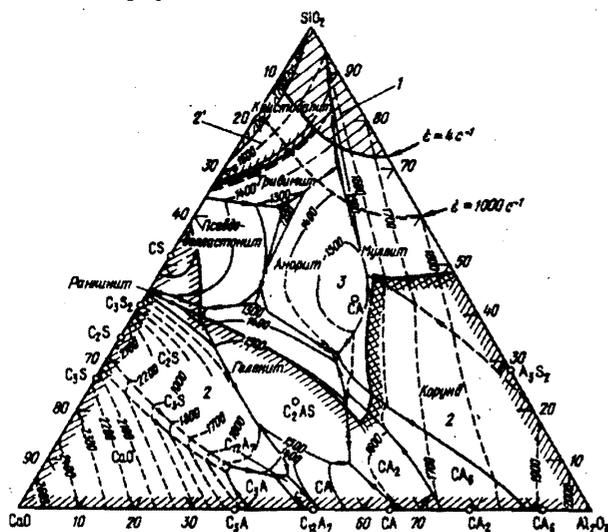


Рис. 3. Фазовая диаграмма SiO<sub>2</sub> - CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Наиболее благоприятный химический состав включений, в котором отношение содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> к сумме содержаний SiO<sub>2</sub> + MnO + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> находится в пределах 0,15–0,30 или, другими словами, доля оксидов алюминия во включениях должна быть не более 15–30 %. Такое соотношение достигается путем обработки стали шлаками с основностью ~ 1,5. Данные включения имеют наименьшую температуру плавления и хорошо поддаются деформации (дроблению) в процессе горячей прокатки.

В проведенных исследованиях выполнен анализ окисленности расплавов на основе прямых измерений прибором «Селох» и изложены теоретические положения для снижения оксидных включений в высокоуглеродистой качественной стали.

Имеется ряд публикаций, в которых высказывается предположение об уменьшении вредного влияния включений путем их модифицирования силикокальциевой проволокой [1, 2]. Однако наши исследования показали, что раскисление кордовой стали силикокальцием, во-первых, не позволяет получить равновесную концентрацию кислорода ниже 0,002 % (рис. 4), во-вторых, повышает среднюю плотность включений на 10–30 %.

Концентрация кислорода 0,002 % и менее может быть получена за счет углеродного раскисления металла при вакуумировании (рис. 5).

В практике производства стали принято комплексное раскисление углеродом и кремнием, поэтому определяющим активностью кислорода будет тот элемент, в равновесии с которым она будет минимальной [3]. При 0,20 % С равновесная с ним активность кислорода составляет 0,015 %, что соответствует содержанию кремния 0,20 % при 1600 °С. При охлаждении металла от 1600 до 1525 °С в равновесии с этим содержанием кремния активность кислорода составит 0,006 %. Введение кремния в данных условиях приведет к значительному образованию продуктов раскисления. В процессе вакуумной обработки при 0,20 % С активность кислорода (расчетная) составит 0,005 %. Последующее легирование кремнием до 0,20 % не приведет к образованию продуктов раскисления (рис. 6).

Как видно из представленных результатов, уже после первой присадки науглероживателя при вакуумировании (при содержании углерода 0,35–0,45 %) активность кислорода составляет менее 0,002 %.

По результатам исследований специалистами завода разработана и внедрена новая технология производства кордовых сталей с обработкой металла шлаками определенного состава и раскислением углеродом при вакуумировании (рис. 7).

При выплавке стали в ДСП используют «чистый» лом, передельный чугун, металлизированные окатыши и/или горячебрикетированное железо. Плавку выпускают в сталь-ковш с содержанием

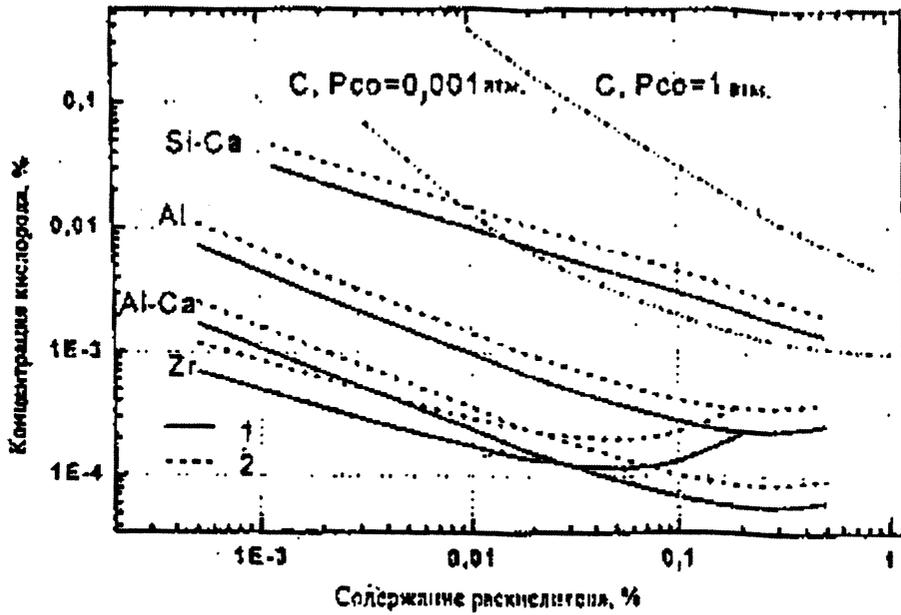


Рис. 4. Равновесные концентрации кислорода при раскислении кордовой стали различными раскислителями

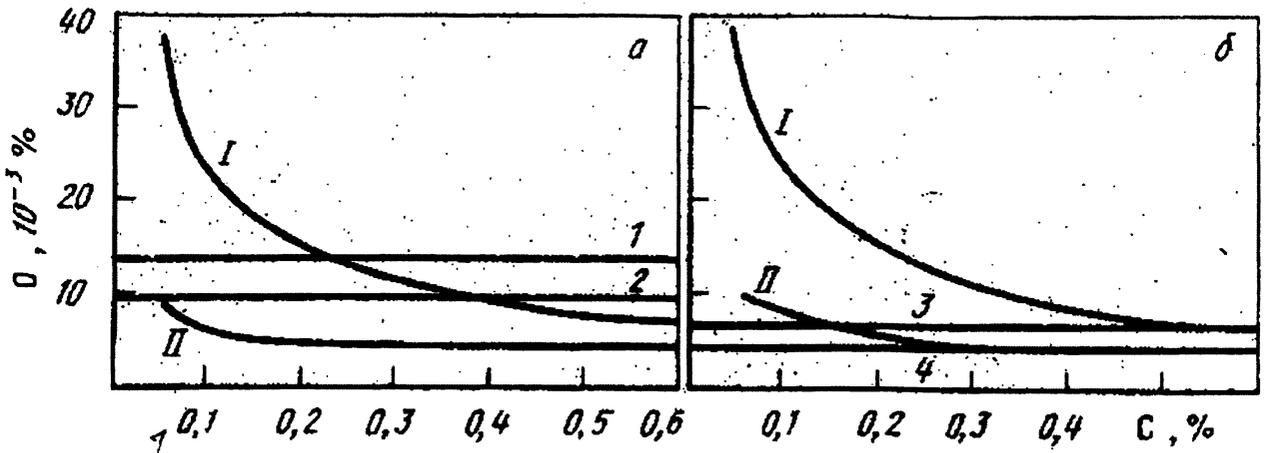


Рис. 5. Зависимость содержания кислорода от углерода до (I) и после (II) вакуумной обработки стали при 1600 (а) и 1525°C (б): 1-4 - линии, соответствующие равновесию кислород-кремний-марганец при содержании 0,2 % Si и  $\leq 0,56$  % Mn (1); 0,4 % Si и  $\leq 0,84$  % Mn (2); 0,2 % Si и  $\leq 0,66$  % Mn (3); 0,4 % Si и  $\leq 0,96$  % Mn (4)

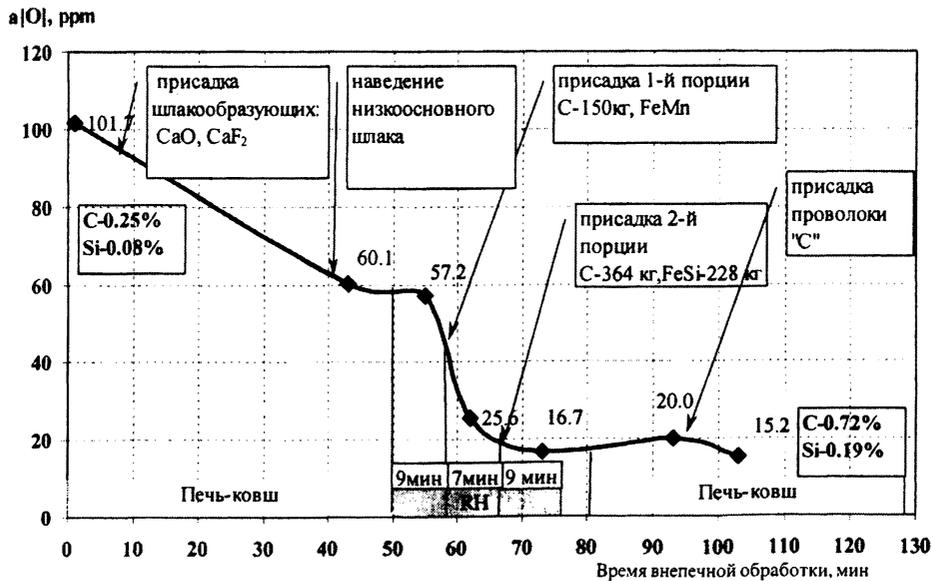


Рис. 6. Изменение активности кислорода

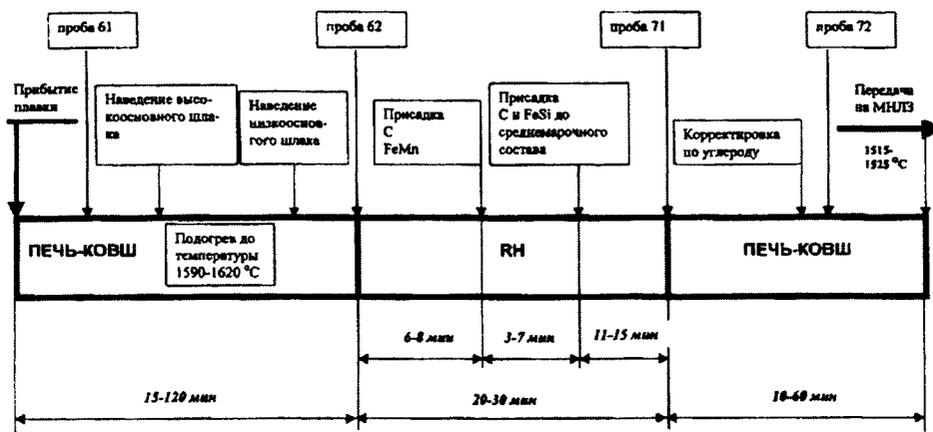


Рис. 7. Схема внепечной обработки стали

кислорода 300–800 ppm (не более 0,20 % С) и температуре 1650–1690°C. В процессе выпуска металл предварительно раскисляется углеродом и кремнием до содержаний 0,35 и 0,10 % соответственно и легируется марганцем. После передачи плавки на «печь-ковш» проводится десульфурация металла и перед вакуумированием наводится шлак с определенными физико-химическими свойствами. В процессе вакуумирования металл в

первую очередь раскисляется углеродом и затем легируется кремнием. Содержание активного кислорода после внепечной обработки составляет не более 15 ppm.

Сталь, раскисленная и обработанная в ковше по новой технологии (А), отличается от стали, раскисленной обычным способом (Б), повышенной чистотой по неметаллическим включениям (рис. 8) (см. ниже).

Технология	А	Б
Число плавков	100	100
Плотность включений, см <sup>-2</sup> :		
минимальная	89	125
максимальная	946	2097
средняя	336	637

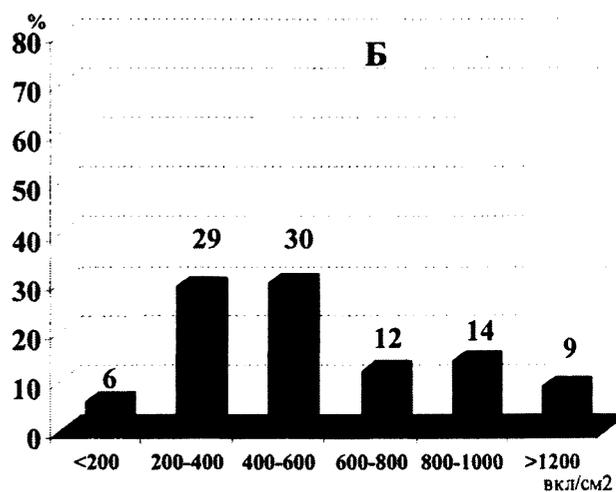
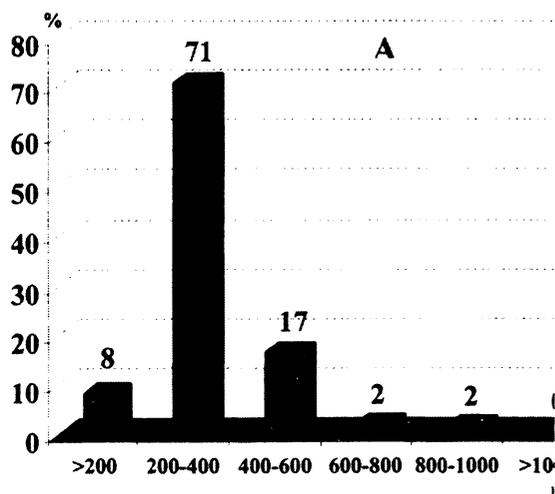


Рис. 8. Распределение плотности включений в стали в зависимости от технологии раскисления (А – новая; Б – принятая ранее)

При этом доля самых мелких включений (размером 1 – 2 мкм) составляет 89 и 80 % соответственно для вариантов А и Б (рис. 9). Обрывность при свивке металлокорда по причине

неметаллических включений уменьшается в 1,7 раза при переходе на новую технологию и равняется 1,6 обрыва на 1 т стали.

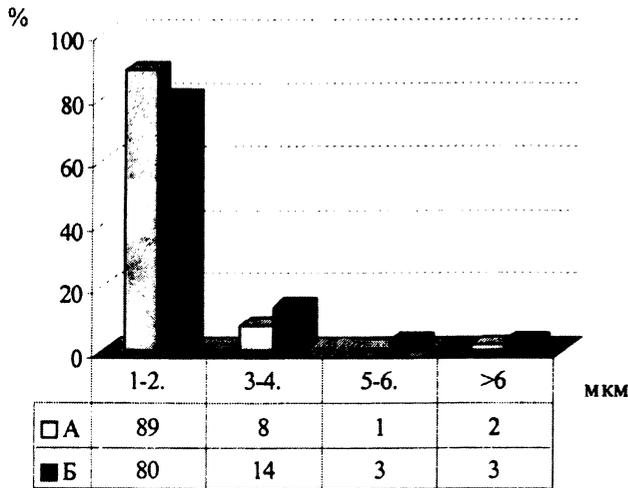


Рис. 9. Распределение включений по размерам: А – новый способ; Б – старый способ

### Заключение

Разработанная комплексная технология внепечной обработки металла позволила уменьшить загрязненность кордовой стали неметаллическими включениями в 1,9 раза, что привело к уменьшению обрывности проволоки при свивке металлокорда по причине неметаллических включений в 1,7 раза. Технология запатентована в Республике Беларусь (заявка № 20011115 от 27.12.2001).

### Литература

1. Онишук В. П., Дюдкин Д. А., Бать Ю. С. и др. Совершенствование технологии внепечной обработки стали // Металл и литье Украины. 1999. № 13–14. С. 24–25.
2. Олетт М., Гателъе С. Влияние добавок кальция, магния или РЗМ на чистоту стали // Чистая сталь. М.: Металлургия. 1987. С. 128–143.
3. Патент ВУ 3462. Способ внепечной обработки стали / Фоменко А. П., Фетисов В. П., Гуляев М. П. и др.

## Журнал БелОЛИМ “ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ” для резидентов РБ ПОДПИСНОЙ КУПОН НА 2003 год

### НАШ АДРЕС И БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

Беларусь, 220073, г. Минск,  
ул. Тимирязева, 29.

**ОДО “Интерфаундри”**

Тел.: (017) 223-09-63;

факс: (017) 254-09-19

Р/с 3012007150010 Фрунзенское  
отд. ОАО Белпромстройбанка  
г. Минска, код 358

УНН 101205300  
ОКПО 37441472

Просим оформить подписку на 2003 г.

Стоимость подписки (включая НДС) 50 000 рублей.

Организация \_\_\_\_\_

Почтовый адрес \_\_\_\_\_

тел. \_\_\_\_\_

Факс \_\_\_\_\_

Кол-во экземпляров по подписке на 2003 г.

**Для оформления подписки переведите соответствующую сумму на расчетный счет получателя и направьте заполненный купон вместе с копией платежного поручения по указанному выше адресу.**