

**Теория
металлургических
процессов**

Н. В. АНДРИАНОВ, Э. В. ИВАНОВ, В. В. ЭНДЕРС, М. П. ГУЛЯЕВ, РУП "БМЗ"

УДК 669.187

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ
В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ РУП «БМЗ»**

Сталеплавильное производство РУП «БМЗ» имеет в своем составе три дуговые электростале-плавильные печи номинальной емкостью 100 т каждая. Каждая печная установка снабжена трансформатором мощностью 75 МВА с плавным регулированием рабочего напряжения посредством переключения 25 ступеней.

Конструкция печей имеет водоохлаждаемые стены и свод. Центральная часть свода и ванна печи футеруются магнезиальными огнеупорами. Используются стеновые газокислородные, дверная и эркерная горелки, дверной манипулятор для ввода углеродсодержащих материалов и кислорода в ванну печи.

Конструкция печных агрегатов, как и технология плавки, на РУП «БМЗ» находятся в постоянном развитии и совершенствовании. В 1998–2000 гг. РУП «БМЗ» совместно с немецкой фирмой «Техком» и австрийской фирмой «Файтчер-Радекс-Дидиер» освоил и внедрил системы донной продувки ванны печи инертными газами. В условиях электросталеплавильных цехов завода опробованы и детально изучены два типа донной продувки металла в печи: «прямой» и «скрытый».

«Прямая» система продувки предусматривает продувку через каналные огнеупорные фурмы (рис. 1). Огнеупорные материалы – блоки гнездовые высотой 300 мм марки Ankertap-SX53 NF55/3015 и высотой 600 мм марки Ankertap-SX53 NF55/3020,

массы ANKERFIX-NS60, ANKERMIX-199, ANKERMIX-NS13, ANKERTAR-NT02, штучные изделия ANKARBON-PX12 типоразмера 30/0 и собственно продувочные фурмы марки ANKERPERM-VRF03 типоразмера VR028/90M. Набивная футеровка подины изготавливалась из массы ANKERHARTH-NN25.

Установка для подачи газа предусматривает полностью автоматическое регулирование подаваемого количества газа в течение всей плавки в целом на все фурмы и/или на каждую отдельно независимо от противодействия, которое постоянно изменяется в процессе плавки. Эта установка позволяет ступенчато (10л/мин) регулировать

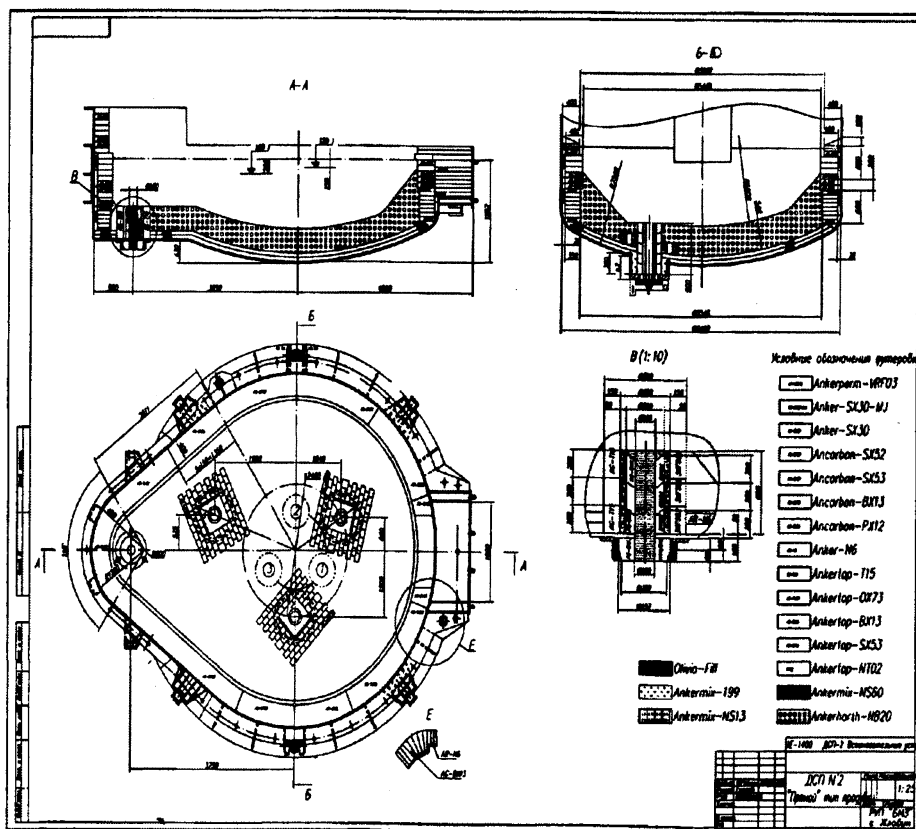


Рис. 1. Схема «прямого» типа

количество подаваемого газа на каждое продувочное устройство в пределах от 10 до 150 л/мин.

Продувка инертным газом способствует интенсивному перемешиванию металла со шлаком, в результате которого мелкие пузыри оказывают фильтрующее воздействие на металл. Слои металла, насыщенные инертным газом, вследствие сни-

жения плотности получают вертикальное перемещение, вызывая противоположное перемещение соседних слоев стали, в результате происходят выравнивания температуры и химического состава в объеме ванны. Перепад температуры металла между последним измерением в печи и первым измерением в ковше снижен на 15 °С (табл. 1).

Таблица 1. Температурный режим плавки

Тип продувки	Температура металла в печи перед выпуском, °С	Температура металла в ковше, °С	Перепад температур, °С
С продувкой в печи Ar, N	1712	1658	54
Без продувки	1711	1642	69

Указанный эффект может быть использован для снижения температуры стали в печи перед выпуском примерно на 15 °С, что позволит сократить продолжительность работы печи под током на 1,5–2,0 мин и сэкономить около 15–20 кВт·ч/т электроэнергии.

Таким образом, несомненно положительное влияние донной продувки ванны печи на ускорение массообменных процессов между металлом и шлаком вследствие существенного увеличения удельной поверхности контакта фаз. Причем благотворное влияние продувки сказывается уже в период плавления (табл. 2).

Таблица 2. Показатели работы ДСП по десульфурации, дефосфорации и расходу извести

Агрегат, тип продувки	Содержание элементов, %				Расход извести, кг/т
	сера по расплавлению min-max/ср.	сера в готовой стали min-max/ср.	фосфор по расплавлению min-max/ср.	фосфор в готовой стали min-max/ср.	
ДСП-1 без продувки (базовый вариант)	0,023-0,090	0,019-0,049	0,004-0,038	0,008-0,037	50,2
	0,043	0,0386	0,0151	0,023	
ДСП-2 «скрытая продувка»	0,020-0,065	0,017-0,048	0,001-0,038	0,001-0,035	42,9
	0,039	0,0344	0,0108	0,0178	
Разница с базовым вариантом	0,004	0,0042	0,0043	0,0052	7,3
ДСП-2 «прямая продувка»	0,020-0,050	0,015-0,040	0,001-0,031	0,001-0,0030	42,2
	0,036	0,0333	0,0100	0,0164	
Разница с базовым вариантом	0,007	0,0053	0,0051	0,0066	8,0

Из таблицы видно, что в случае донной продувки процентные значения содержания фосфора по расплаву в 1,3 – 1,5, а серы в 1,2 раза меньше, чем без продувки. В целом донная продувка позволяет получить более низкие процентные значения содержания фосфора в 1,4 раза и серы в 1,13 раза в готовой стали, чем при обычной плавке.

Следует отметить, что более глубокая десульфурация и дефосфорация расплава достигаются меньшими расходами основного шлакообразующего материала – извести.

Постоянное эффективное перемешивание металла и шлака способствует более раннему образованию гомогенного высокоосновного шлака. В результате расход извести на плавках с продувкой на 14–16 % меньше, чем при базовом варианте.

Интенсивное кипение и дополнительное перемешивание металлической ванны оказывают зна-

чительное влияние на термодинамику и кинетику процесса обезуглероживания и эффективную концентрацию кислорода в металле. Дополнительный поток газов при продувке ванны аргоном или азотом, во-первых, увеличивает массоперенос кислорода, во-вторых, создает надшлаковый слой, обогащенный нейтральными газами и оксидом углерода, и этим затормаживает переход кислорода из печных газов в шлак. В целом данное явление и интенсивное взаимодействие фаз приближают систему к равновесию; содержание кислорода снижается в среднем на 150 ppm (рис. 2). Снижение концентрации кислорода в металле и всплытие неметаллических включений при донной продувке в ванне печи обеспечило уменьшение содержания оксидных включений в стали для металлокорда в 1,3 раза и угара раскислителей в 1,05 раза. Выход годного металла увеличился на 0,52 %.

При выплавке качественных сталей, в частности для металлокорда, актуальным является получение низкого содержания азота в металле. Известно, что результирующая концентрация азота в расплаве складывается из прихода его с металлошихтой, поступления из атмосферы печи в «жидкие» периоды плавки и удаления вследствие кипения ванны в окислительный период. При сравнительно высоких концентрациях углерода (0,20–0,30 %) интенсивность обезуглероживания металла высока и баланс азота в металле имеет отрицательное значение. Однако по мере снижения концентрации углерода (до 0,15 % и ниже) и уменьшения интенсивности обезуглероживания баланс азота становится положительным за счет более интенсивного поступления его в металл. Содержание азота в металле без продувки через днище в этот период увеличивается в среднем на 20 ppm. Компенсация мощности кипения ванны в результате принудительной продувки аргоном снизу обеспечивает снижение концентрации азота в стали в этот период в среднем на 15 ppm (рис. 3).

Современное сталеплавильное производство РУП «БМЗ» представлено комплексной системой подготовки металла к разливке и внеагрегатной (внепечной) обработкой стали, используется большинство самых распространенных в черной металлургии методов внепечной обработки стали. Весь металл, выплавляемый в 100-тонных дуговых печах, подвергается продувке инертными газами через погружаемые фурмы и пористые пробки в днище ковша. Широко используется обработка металла в ковшах твердыми раскисляющими, рафинирующими смесями и порошковыми проволочками.

В состав основного оборудования участков внепечной обработки входят две установки ковш-печь с трансформаторами номинальной мощностью по 15 МВА, установка циркуляционного вакуумирования типа RH и установка ковшевого вакуумирования типа VD, работающая от одной системы насосов, обеспечивающих остаточное давление менее 100 Па.

Особое внимание уделяется кордовой стали. Большой шаг в повышении качества кордовой стали сделан с разработкой и внедрением комплексной внепечной обработки металла.

Разработанная специалистами РУП «БМЗ» оригинальная технология внепечной обработки кордовой стали включает в себя обработку низкоосновными шлаками (патент РБ №2652) и вакуумирование на установке циркуляционного вакуумирования. По сути, создана и внедрены технология и метод управления составом, количеством и формой неметаллических включений в стали, не имеющие аналогов в практике. В результате внедрения указанных технологий весь кордовый металл проходит тест на загрязненность неметаллическими включениями по методике фирмы «Pirelli» с

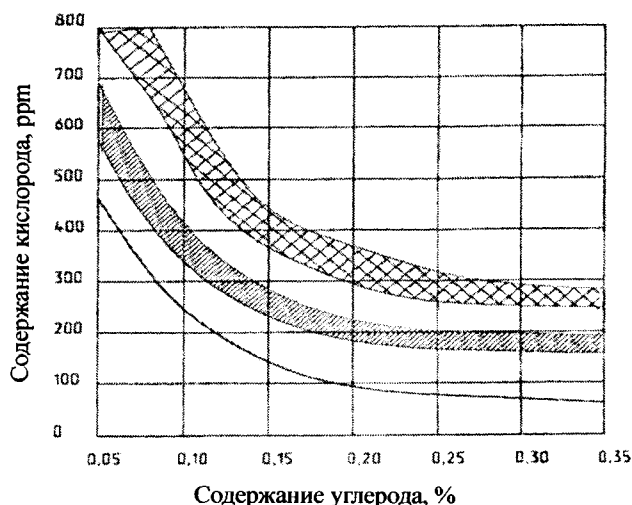


Рис. 2. Окисленность металла при продувке ванны инертным газом (///) и при обычном процессе (-----). Равновесная кривая при 1600 °C (—)

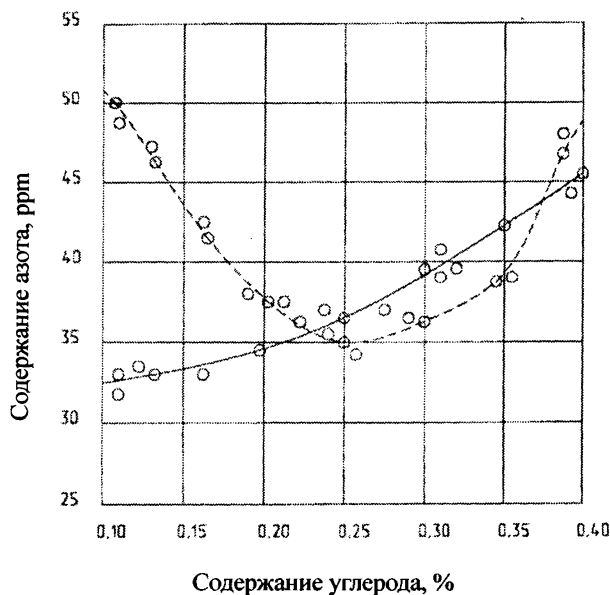


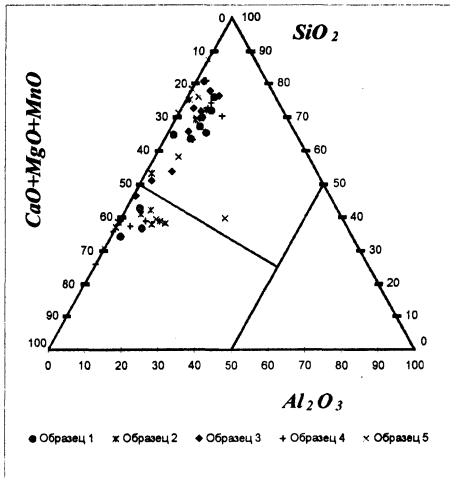
Рис. 3. Изменение содержание азота в металле в окислительный период и в период доводки без продувки (-----) и с продувкой аргоном (—)

использованием электронного микроскопа. В ходе промышленных экспериментов изучены различные технологические варианты, отличающиеся шихтовкой плавки в ДСП, раскислением металла перед вакуумированием. Исследовалось частичное, диффузионное, предварительное под вакуумом и полное раскисление металла перед вакуумной дегазацией. По результатам исследований создана комплексная технология внепечной обработки кордовой стали, включающая в себя обработку шлаками переменной основности на установке ковш-печь, двойное углеродное раскисление металла под вакуумом без применения порошкообразных раскислителей (SiCa, FeCa), которая внедрена на РУП «БМЗ» (заявка 20011115ВУ). После вакуумной обработки умеренная продувка под

шлаком позволяет выдерживать минимизированное содержание газов, массовая доля которых составляет: водорода не более 1,5 ppm, кислорода и азота не более 40 ppm. Загрязненность кордовой катанки диаметром 5,5 мм, оцениваемая по методике фирмы «Pirelli», соответствует качеству японской катанки фирм «Nippon Steel», «Coba Steel» и по плотности НВ находится на одном уровне. Средняя плотность НВ составляет 340 вкл/см² при максимальном значении 500 вкл/см², а размер не превышает 5 мкм (рис. 4).

А

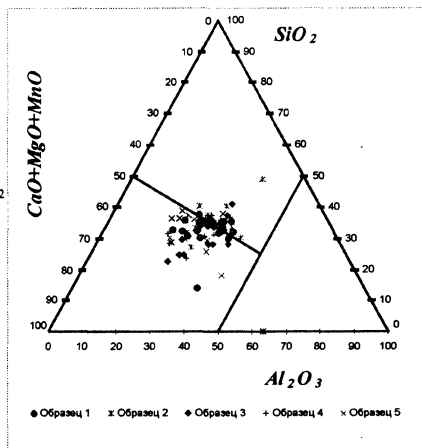
Плотность включений 89–500 вкл/см²



Предварительное раскисление металла под вакуумом

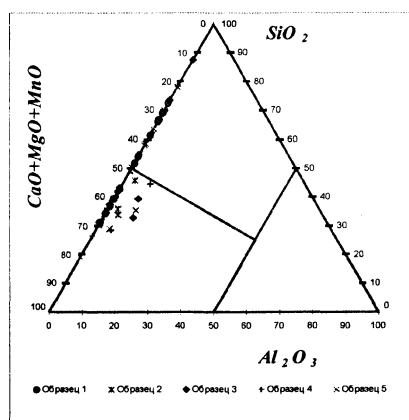
В

Плотность включений 200–900 вкл/см²



Полное раскисление металла перед вакуумированием на установке RH (с SiCa)

Плотность включений 100–500 вкл/см²



Японская катанка

Рис. 4. Распределение и состав неметаллических включений на тройной диаграмме

Таким образом, появляется возможность производства катанки для металлокорда, соответствующей требованиям лучших мировых производителей корда.

Другой важнейший показатель качества кордовой стали – степень ликвации (химической неоднородности) углерода в катанке. Неравномерное распределение элементов (особенно углерода) в слитке и катанке кордовой стали является причиной повышенной обрывности проволоки при свивке и снижения пластических характеристик готовых изделий металлокорда и проволоки для рукавов высокого давления (РМЛ).

Для оценки степени сегрегации (ликвации) углерода в катанке на РУП «БМЗ» используют пятибалльную шкалу (составлена статистическим методом), максимально допустимый балл – три (рис. 5).

Балл	70КО, 70К, 75К, 70Б, 75Б	80К, 85КУ, 85К, 85Б
1		
2		
3		
4		
5		

Рис. 5. Шкала баллов подусадочной неоднородности (ликвации) катанки

С целью гарантированного обеспечения заданного уровня ликвации РУП «БМЗ» в 1998 г. провел реконструкцию четырехручьевого сортовой машины непрерывного литья заготовок. Машина криволинейного типа предназначена для отливки блюмов сечением 250х300 и 300х400 мм из углеродистой и легированной качественной стали со скоростью разливки от 0,5 до 0,8 м/мин. Главная цель реконструкции — улучшение качества внутренней структуры и поверхности непрерывнолитых заготовок. В ходе модернизации выполнены следующие основные мероприятия:

- область первичного охлаждения в кристаллизаторе увеличена на 100 мм;
- установлены катушки электромагнитного перемешивания в кристаллизаторе и финальной зоне;
- изменены секции зоны вторичного охлаждения и системы первичного и вторичного охлаждения;
- усовершенствована и внедрена система автоматизированного поддержания уровня металла в кристаллизаторе;
- внедрена усовершенствованная автоматизированная система управления технологическим процессом разливки.

Катушки ЭМП вращают жидкую фазу вокруг продольной оси заготовки и имеют следующие характеристики: сила тока — 700 А; рабочая частота кристаллизаторной катушки 1–5 Гц, финальной катушки — 3–13 Гц; режим работы: «вправо без пауз», «влево без пауз», «вправо с паузой», «влево с паузой», «реверсивно».

Финальная катушка имеет пять рабочих положений по разливочной дуге в диапазоне 5182–10766 мм от кристаллизатора.

Применение катушек ЭМП значительно изменило условия затвердевания стали в кристаллизаторе и массопереноса в двухфазной зоне, в результате расширяется зона равноосных кристаллов и приостанавливается рост столбчатых кристаллов. В

целом улучшена микро- и макроструктура непрерывнолитых блюмов, развитие ликвационных полосок снизилось в 4 раза для сечения 200х300 и в 2,2 раза — для сечения 300х400 мм.

В результате детальных исследований определены оптимальные режимы работы катушки ЭМП и положение финальной катушки для сталей с содержанием углерода от 0,1 до 0,8 %, обеспечивающее балл ликвации не выше 3.

В процессе исследований установлено, что с увеличением содержания углерода более 0,8 % влияние электромагнитного перемешивания на осевую сегрегацию примесей существенно снижается и практически нивелируется.

Очевидно, что при высоких содержаниях углерода его поток от периферии к центру слитка при перераспределении в процессе кристаллизации велик и не может быть рассредоточен магнитными воздействиями катушек перемешивания. Однако при увеличении заданного содержания углерода от 0,75 % и выше существующая технология и оборудование МНЛЗ не всегда обеспечивают заданный уровень ликвации. В связи с изложенным для расширения производства кордовой стали с повышенным содержанием углерода требуется модернизация МНЛЗ-3, в частности внедрения водовоздушного охлаждения и «мягкого» обжата. В настоящее время для производства стали под высокопрочный корд ($C > 0,8$ %) на РУП «БМЗ» разработан и используется способ прокатки заготовок разделением.

В марте 2003 г. в электросталеплавильном цехе №1 начато освоение технологии внепечной обработки стали на вновь введенной установке печьковш. Полное освоение мощностей и технологии рафинирования металла на этой установке позволит существенно улучшить технико-экономические показатели ЭСПЦ-1 и значительно расширить сортамент сталей, производимых в сталеплавильном производстве РУП «БМЗ».