



*Systems of "direct" and "hidden" types of bottom purging of metal by inert gases in a powerful arc steel-melting furnace are investigated and implemented. The given investigations established positive influence of flux composition, mixing and preparation during processing of dispersion and oxidized wastes of aluminum alloys in short-flame rotary furnace. Substitution of cryolite in chlorine-containing flux with fluorspar is proved advisable.*

*М. П. ГУЛЯЕВ, В. В. ФИЛИППОВ, Э. В. ИВАНОВ, В. В. ЭНДЕРС, РУП "БМЗ",  
Э. В. ШУМАХЕР, ЭД. ШУМАХЕР, Р. ФРАНЦКИ, "Techcom Import-Export GmbH",  
Х. БРЕНЕР, "Veitscher-Radex-Didier AG"*

## **ПЕРВЫЕ В СНГ СИСТЕМЫ ДОННОЙ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

УДК 669.187

Проблема локального перегрева расплава в зоне действия электрических дуг при плавке стали в мощных дуговых печах постоянно находится в центре внимания электросталеплавильщиков. Задачи гомогенизации и рафинирования металла перед разливкой большей частью решаются методами ковшовой металлургии. Вместе с тем теорией и практикой современного электросталеплавильного производства доказано, что основа качественного металла, несомненно, закладывается при плавке в ДСП. Для получения чистой по неметаллическим включениям стали с низким содержанием газов, быстрой и эффективной гомогенизации и ускорения массообменных процессов все больше используют донную продувку инертными газами в печи. Наряду с улучшением качества стали донная продувка в ванне ДСП снижает расход электроэнергии и электродов, раскислителей и легирующих, увеличивает производительность печной установки.

В 1998—2000 гг. Белорусский металлургический завод совместно с немецкой фирмой "Techcom" и австрийской фирмой "Veitscher-Radex-Didier" (VRD) освоил и внедрил системы донной продувки ванны инертными газами на двух 100-тонных ДСП-2, 3 (табл. 1). Дуговые сталеплавильные печи БМЗ оснащены эркерным выпуском металла и оборудованы трансформаторами мощностью 75 МВА и стеновыми газокислородными горелками.

ДСП-3 дополнительно оборудована дверной газокислородной горелкой мощностью 5 МВт, манипуляторами для вдувания кислорода и углеродсодержащих материалов, консолями фирмы "Fuchs" и установкой для вдувания в печь доломитовой муки фирмы "Stein Injection Technology".

Основная технология выплавки — одношлаковый процесс с "жидким" стартом с использованием в шихте углеродистого металлолома и металлизированных окатышей.

Большую часть в сортаменте ЭСПЦ занимают качественные углеродистые, легированные стали

и сталь для металлокорда с жесткими требованиями по содержанию неметаллических включений и газов. Так, содержание серы и фосфора в кордовой стали должно быть не более 0,015% каждого, содержание азота и кислорода не более 50 ppm каждого.

В условиях РУП "БМЗ" необходимость внедрения донной продувки металла инертными газами в печах дополнительно обусловлена сложившимся дефицитом извести. Проектная балансовая схема РУП "БМЗ" (рис.1) предусматривала выплавку 1104 200 т стали в год, при этом потребность извести покрывалась двумя известково-обжигательными печами общей годовой производительностью 79 тыс. т.

В связи с наращиванием производства стали (1998 г. — 1,300 млн т; 1999 г. — 1,334 млн т и 2000 г. — 1,50 млн т) на заводе встала проблема дефицита извести; на период конца 1999 г. дефицит составлял 9% от потребности. Данный дефицит частично покрывается использованием необожженного известняка на рядовых марках стали, что неизбежно приводит к снижению технико-экономических показателей работы печей.

Естественно, при таком дефиците извести строительство дополнительной известковой печи экономически неоправдано.

В условиях электросталеплавильных цехов РУП "БМЗ" опробованы и детально изучены два типа донной продувки металла в печи: "прямой" и "скрытый".

Оборудование ДСП-3 системой донной продувки проведено одновременно с оснащением печи дополнительными средствами интенсификации процесса: дверной газокислородной горелкой, манипуляторами для продувки кислородом и вдувания углеродсодержащих материалов и др., поэтому сравнение технико-экономических показателей в настоящей работе выполнено для ДСП-1 (без продувки — базовый вариант) и ДСП-2, которые работают в идентичных условиях.

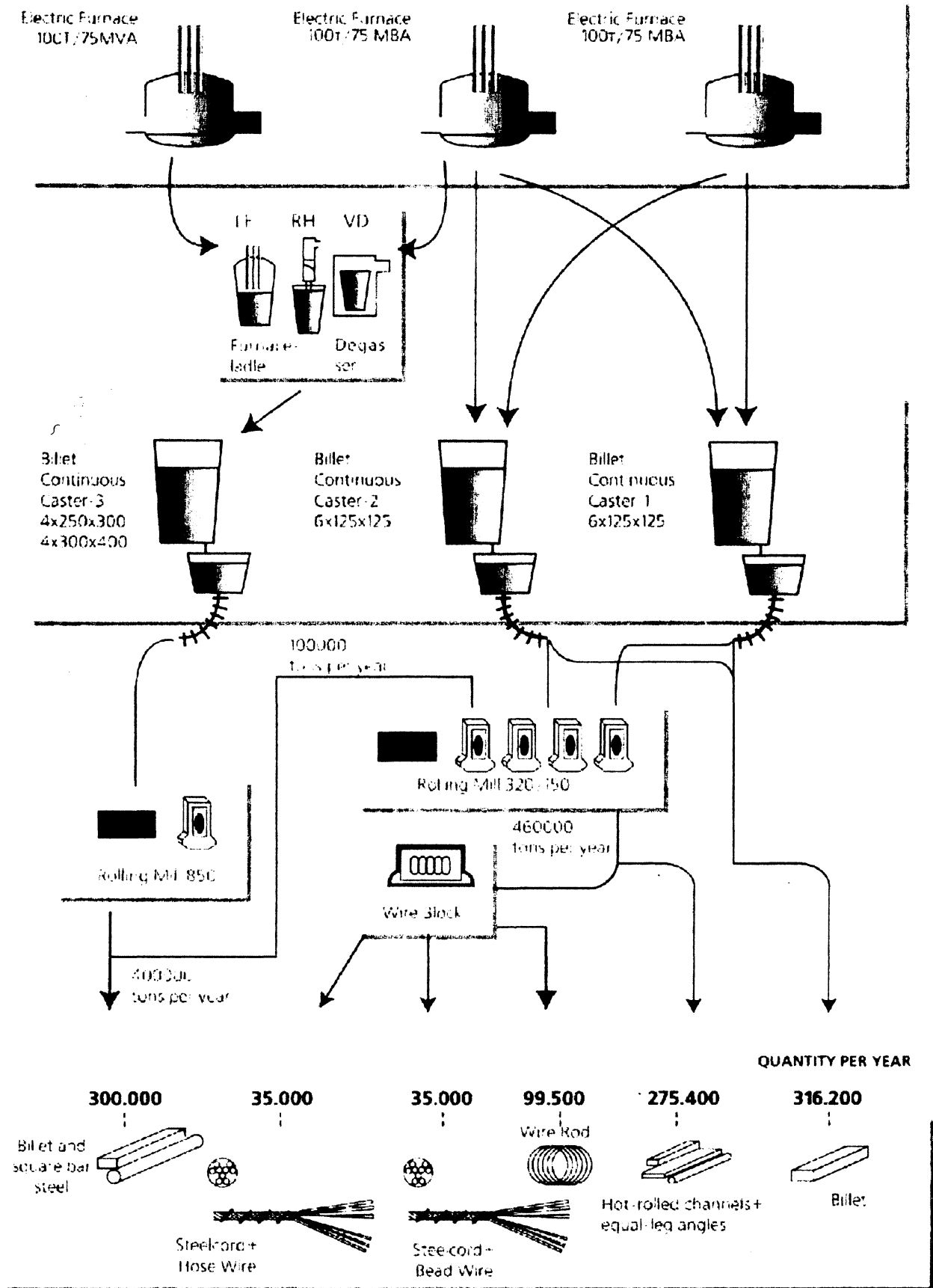


Рис. 1. Баланс металла РУП "БМЗ"

Таблица 1. Типы донной продувки на ДСП-2, 3 БМЗ

Номер печи	Период	Тип донной продувки
ДСП-3	Декабрь 1998 г. – по настоящее время	«Прямая»
ДСП-2	Ноябрь 1999 г. – 29.06.2000 г.	«Скрытая»
	29.06 – 01.08.2000	«Прямая»
	01.08 – 1.09.2000	«Скрытая»
	31.09 – 02.10.2000	«Прямая»

"Скрытая" система продувки, предложенная фирмами VRD и "Techcom", предусматривает продувку через специальные устройства подачи газа, которые покрываются слоем газопроницаемой огнеупорной массы (рис. 2).

В броне днища печи выполнен монтаж специальных скрытых продувочных устройств (трубок) для продувки металла газом.

Последовательность операций при подготовке подины ДСП под "скрытую" донную продувку следующая: после оборудования подины устройствами для подвода инертного газа и отвода свинца выполнялась арматурная футеровка в два ряда "на плашку" периклазовыми изделиями марки Anker №6 типоразмера 2-76 (размером 250×125×76 мм), при этом оставляли четыре места под огнеупорные "стаканы" для продувочных устройств. Кольца опалубки "стаканов" изготавливали из листового стали, крепление листов между собой осуществлялось в четырех местах скобами. Наружный диаметр колец 180 мм, внутренний – 930 мм. Высота колец: для узла продувки, расположенного на перевале подины по оси "порог рабочего окна – эркерный выпуск", – 170 мм, для трех остальных узлов – 240 мм. Огнеупорный материал для "стаканов" – масса марки ANKERHARTH-CP30, для подины от арматурной футеровки на высоту 180-200 мм и откосов, включая эркерную часть подины, – масса марки ANKERHARTH-NN25, для центральной части подины над узлами продувки на высоту 350 мм – газопроницаемая масса ANKERHARTH-TLS2.

"Прямая" система продувки, предложенная также фирмами VRD и "Techcom", предусматривает продувку через каналы огнеупорные фурмы (рис. 3).

Конструктивно имеются отличия как при подготовке металлического корпуса подины, так и при выполнении огнеупорной футеровки.

Корпус подины перед футеровкой оборудуется тремя металлическими "стаканами" с запорными фланцами для монтажа и демонтажа огнеупорных фурм. Схема футеровки двух арматурных слоев аналогична схеме под "скрытую" донную продувку.

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.

Газораспределительная установка для продувочных устройств укомплектована свободно программируемым SIMATIK S5 и автоматическим байпасом на случай непредвиденного отключения электроэнергии или снижения давления инертного газа в системе, что гарантирует постоянный проход газа через фурмы при "прямой" продувке или пористую футеровку подины при "скрытой".

Установка для подачи газа предусматривает полностью автоматическое регулирование подаваемого количества газа в течение всей плавки в целом на все фурмы и/или на каждую фурму отдельно независимо от противодавления, которое постоянно меняется в процессе плавки. Эта установка позволяет ступенчато (10 л/мин) регулировать количество подаваемого газа на каждое продувочное устройство в пределах от 10 до 150 л/мин.

Для "прямой" схемы продувки безопасность обеспечивается установкой в каждую продувочную фурму "глухой" трубки на 1/3 высоты фурмы снизу. В данные трубки постоянно подается газ под давлением. В случае износа фурмы на 2/3 высоты трубка вскрывается, изменяются расход и давление газа, о чем персонал оповещается сигнализацией.

Для обеих схем продувки при управлении в ручном режиме расходы инертного газа по периодам плавки были следующими:

- первый этап – продувка в течение 20 мин с расходом 20 нл/мин;
- второй этап – продувка в течение 20 мин с расходом 40 нл/мин;
- третий этап – продувка с расходом 60 нл/мин до выпуска плавки в ковш.

При работе в автоматическом режиме расход инертного газа зависит от потребляемой мощности ДСП и вида металлошихты.

Продувка инертным газом способствует интенсивному перемешиванию металла со шлаком, мелкие пузыри оказывают фильтрующее воздействие на металл. Слои металла, насыщенные инертным газом, вследствие снижения плотности по-

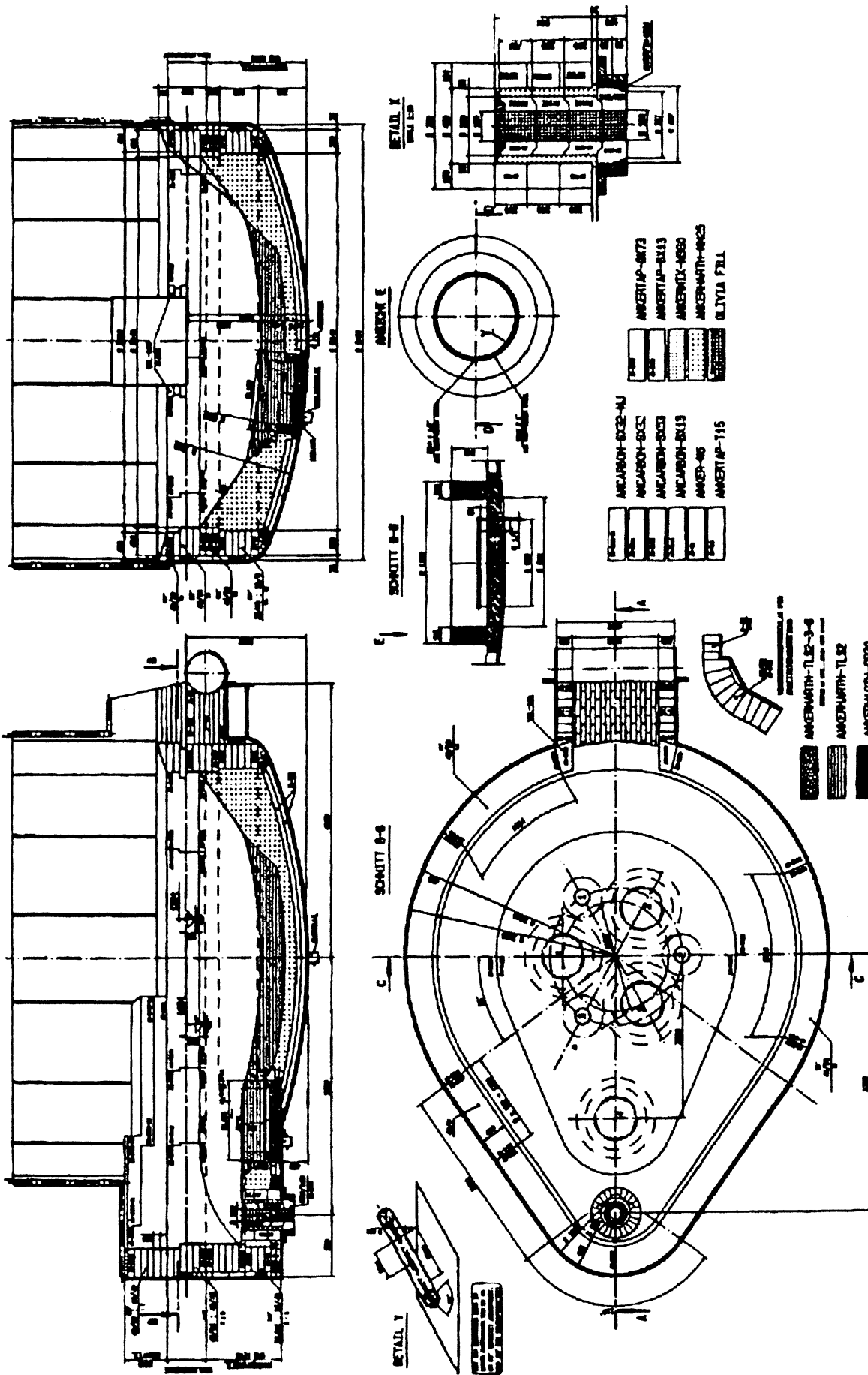


Рис. 2. Схема "скрытого" типа продувки

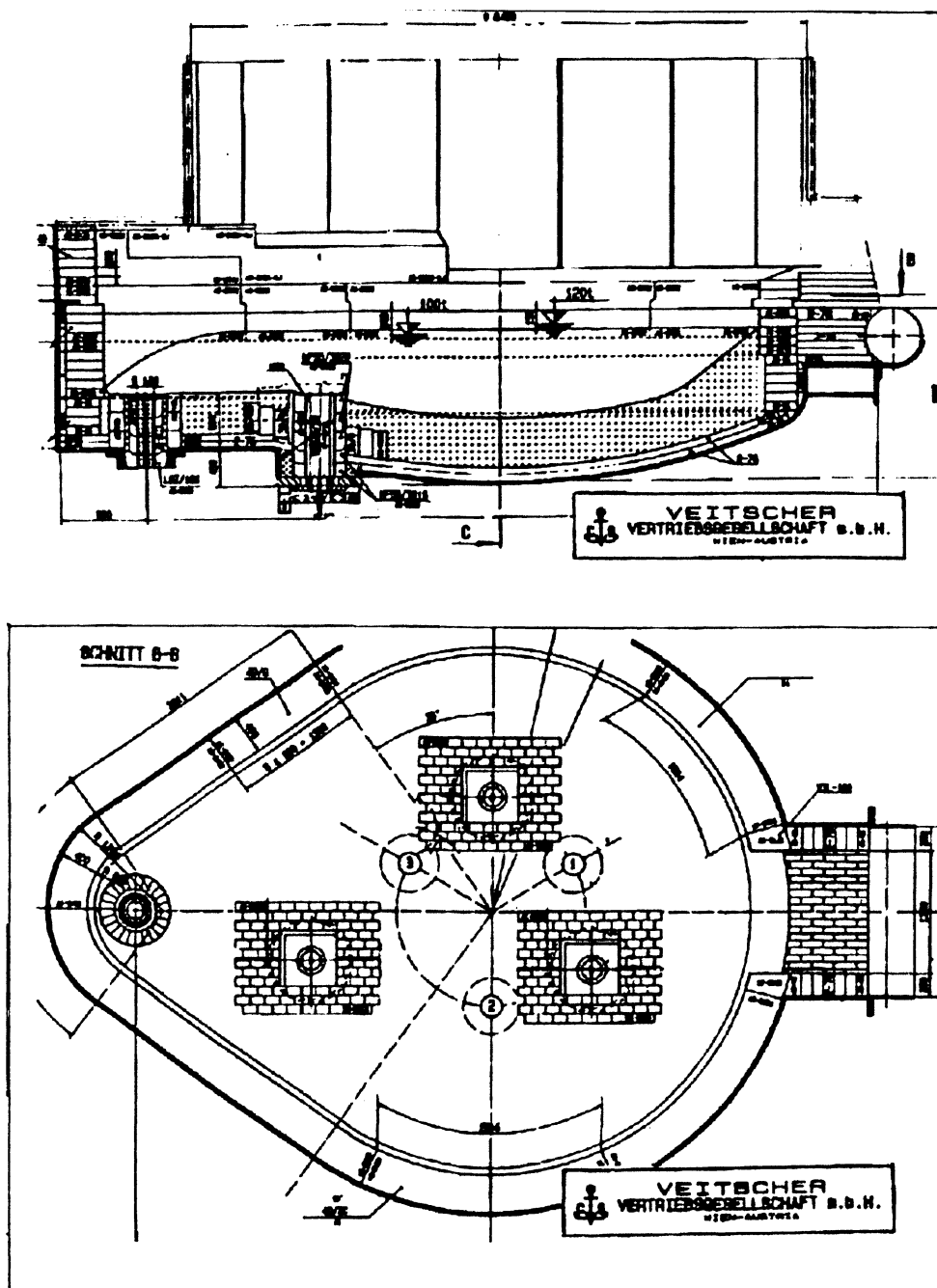


Рис. 3. Схема "прямого" типа продувки

лучают вертикальное перемещение, вызывая противоположное перемещение соседних слоев стали, в результате выравниваются температура и химический состав в объеме ванны. Перепад температуры металла между последним измерением в печи и первым измерением в ковше снижен на  $15^{\circ}\text{C}$  (табл. 2).

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

Несомненно положительное влияние донной продувки ванны 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. 3).

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

Следует отметить и тот факт, что более глубокая десульфурация и дефосфорация расплава достигаются меньшими расходами основного шлакообразующего — извести.

Таблица 2. 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

Таблица 3. 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

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.

Таким образом, внедрение донной продувки инертными газами на всех трех дуговых сталеплавильных печах может решить в условиях РУП "БМЗ" проблему дефицита извести, о существовании которого изложено выше.

Интенсивное кипение и дополнительное перемешивание металлической ванны оказывает значительное 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 приближает систему к равновесию; содержание кислорода снижается в среднем на 150 ppm (рис. 4). Снижение концентрации кислорода в металле и всплывание неметаллических включений при донной продувке в печи обеспечило уменьшение содержания оксидных включений в стали для металлокорда в 1,3 раза и угара раскислителей в 1,05 раза. Выход годного металла увеличен 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 "жид-

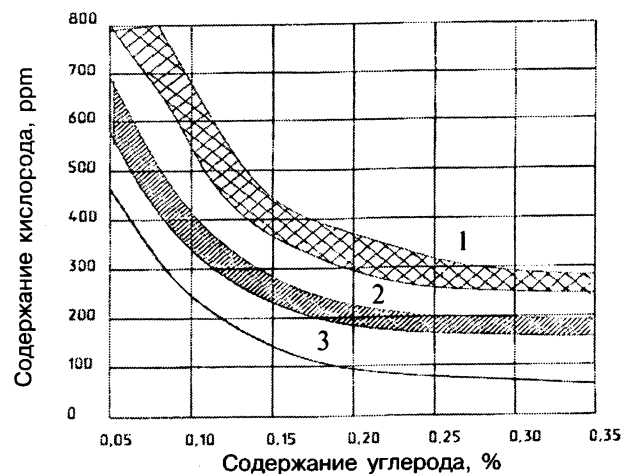


Рис. 4. Окисленность металла при продувке ванны инертным газом (1) и при обычном процессе (2). Равновесная кривая при 1600°C (3)

кие" 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 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 за счет принудительной продувки аргоном снизу обеспечивает снижение концентрации азота в стали в этот период в среднем на 15 ppm (рис. 5).

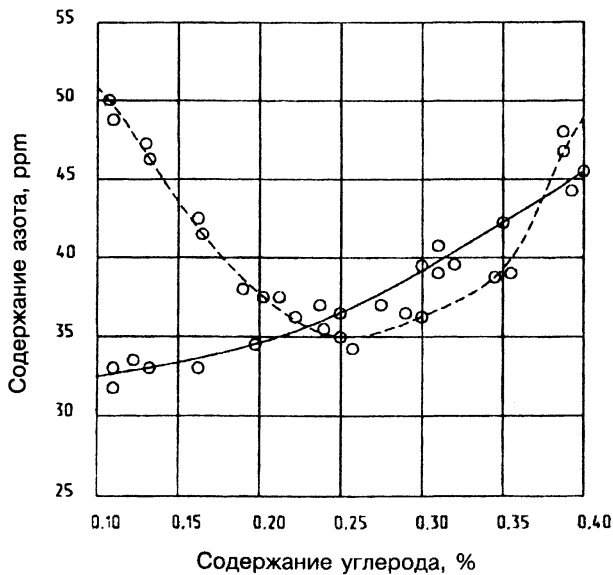


Рис. 5. Изменение содержания азота в металле в окислительный период и в период доводки без продувки (---) и с продувкой аргоном (—)

### Выводы

Исследованы и внедрены системы "прямого" и "скрытого" типа донной продувки металла инертными газами в мощной дуговой сталеплавильной

печи. В результате разработок, испытаний и промышленного использования достигнуты следующие показатели:

- продолжительность работы печи под током снижена на 3 мин;
- экономия электроэнергии составила 15–20 кВт·ч/т стали;
- уменьшен расход извести на 8–10 кг/т стали;
- угар раскислителей и легирующих снижен на 5 %;
- выход годного металла увеличен на 0,52 %;
- уменьшено содержание в готовом металле фосфора — на 45–50 %, серы — на 15–20, азота — на 15–20, окисленность — на 44%;
- перепад температуры между последним измерением в печи и первым измерением в ковше снижен на 15°C;
- снижено содержание оксидных неметаллических включений в стали для металлокорда в 1,3 раза.

В условиях РУП "БМЗ" с внедрением донной продувки решен вопрос дефицита извести без дополнительных капитальных вложений.

РУП "БМЗ" имеет намерения оборудовать дуговую сталеплавильную печь №1 новой оригинальной комбинированной системой продувки ванны.