

УДК 669.18:669.013.5.001.5(477)

**В.Ф.Поляков, С.И.Семыкин, Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко,
Т.С.Голуб, А.А.Семикина**

Институт черной металлургии НАН Украины им.З.И.Некрасова

НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Целью исследования является определение основных направлений снижения газонасыщенности конвертерной стали, которые в комплексе привели бы к получению чистого по газам металла. В работе определены направления наиболее перспективных исследований по разработке мероприятий по уменьшению содержания в конвертерной стали вредных газов с учетом условий металлургического производства Украины. Показано, что значительный теоретический и практический интерес для возможности снижения газонасыщенности расплавов представляет использование комбинированных процессов выплавки кислородно-конвертерной стали с наложением низковольтных электрических потенциалов на расплав.

Ключевые слова: конвертерная сталь, газонасыщенность, исследования, комбинированные процессы, электрические потенциалы

Современное состояние вопроса. Учитывая важность задач по повышению физико– химических и эксплуатационных характеристик металлопродукции из различных марок стали, в том числе за счет снижения ее газонасыщенности, металлургической практикой накоплен достаточно широкий перечень мероприятий по уменьшению в железо–углеродистом расплаве концентрации кислорода, азота и водорода. Подробный анализ содержания газов в стали и эффективности использования наиболее известных технических решений, которые применяются в настоящее время, приведен в работе [1]. В рассмотренный перечень включены мероприятия, относящиеся не только к стадии сталеплавильного производства, но и к этапам выплавки чугуна в доменной печи, его десульфурации в ковше, а также внепечной обработке стали по различным вариантам и разливке на МНЛЗ и в изложницы. Выполненный анализ, учитывающий перспективные требования по качеству металлопродукции, определяемые новыми более жесткими условиями эксплуатации стальных конструкций, а также появление новых вариантов технологии, свидетельствует об отсутствии универсальных или максимально эффективных средств, которые в результате их индивидуального применения могли бы обеспечить снижение содержания газов в стали.

Изложенное позволяет считать, что в современных условиях, а также в ближайшей и среднесрочной перспективе использование известных средств, даже с учетом возможности их усовершенствования, не позволяет в полной мере решить задачи по обеспечению производства на пред-

приятиях Украины сталей, уровень содержания газов в которых не лимитирует производство металлоизделий с учетом требований потребителей.

Постановка задачи. С теоретической и практической точек зрения интерес представляет рассмотрение таких видов обработки жидкой стали, которые в комплексе привели бы к получению чистого по газам металла. Теоретические исследования должны предполагать изучение природы насыщения стали газами и механизма возможного их удаления из расплава, выявления влияния технологических параметров на химический состав и структуру жидкой стали, изучение механизма образования неметаллических включений, которые являются прямым следствием газонасыщенности металла.

Целью исследования является определение основных направлений новых научно– технологических исследований, которые с учетом имеющегося опыта позволят снизить газонасыщенность конвертерной стали.

Изложение основных результатов исследования.

По мнению авторов настоящей работы, наиболее перспективными направлениями решения поставленной задачи в условиях Украины являются:

- использование технологий, получивших широкое распространение в зарубежной практике, но пока не применяемых на отечественных заводах;
- разработка новых, основанных на физических воздействиях, способов, базирующихся на современных представлениях о природе и структуре металлических и шлаковых расплавов.

К первой категории, в первую очередь, относится использование различных вариантов комбинированной продувки, основой которых является подача дутья не только через верхнюю фурму, но и через днище сталеплавильного агрегата. Эти способы практически повсеместно применяются за рубежом при конвертерном производстве стали (около 90 % конвертерной стали выплавляются по таким технологиям), в то время как в Украине в ограниченном масштабе применяется только один из вариантов этой технологии (на Алчевском металлургическом комбинате в первой половине компании осуществляется подача нейтрального газа через донные фурмы).

Природа такого рода конвертерных процессов обуславливает снижение газонасыщенности расплава, чему способствует усиление перемешивания ванны при более спокойном ходе процесса, экстракция вредных газов всплывающими пузырьками донного дутья в связи с более низким их парциальным давлением в объеме пузыря, уменьшение интенсивности перегрева металла в подфурменной зоне и т.п.

О наличии эффекта снижения газонасыщенности при использовании комбинированной продувки сообщается в многочисленных зарубежных публикациях, однако конкретные данные о величине этого снижения для конкретных вариантов продувки, и тем более сопоставительных сведений,

которые позволили бы выбрать наиболее приемлемый вариант технологии с учетом его влияния на содержание газов, в зарубежной литературе не приводится. Это не позволяет осуществить выбор с позиций газонасыщенности наиболее целесообразных для условий Украины вариантов комбинированной продувки, в т.ч. с учетом шихтовых условий, особенностей сортамента и т.п.

Поскольку переход отечественных предприятий на их применение уже в ближайшее время неизбежен и определяется только временными и финансовыми факторами, для проведения работ по проектированию и реализации известных вариантов, требуются знания не только о параметрах технологии и технических преимуществах, но и сведения об их влиянии на качество металла, в том числе содержание газов, которые, как указывалось, в литературе отсутствуют, поскольку большинство публикаций носит преимущественно рекламный характер. По мнению авторов данной статьи этот пробел может быть в значительной мере восполнен путем использования (обобщения и анализа) результатов ширококомасштабных лабораторных исследований, выполненных ИЧМ в предыдущие годы, которые наряду с прочим включают оценку газонасыщенности металла.

Ценность имеющейся в ИЧМ информации, которая в сложившейся ситуации является, по существу, единственным источником необходимых знаний и численных показателей, определяется еще и тем, что целый ряд вариантов комбинированной продувки для улучшения технико-экономических показателей процесса предусматривает ввод компонентов (азот, водородсодержащие соединения), которые могут оказать обратное влияние на результаты снижения газонасыщенности а также характеризуются использованием газообразующих материалов (углеродсодержащие твердые и газообразные тепловыделяющие вещества).

Такого рода подход, вероятнее всего, не позволит количественно распространить на промышленные агрегаты результаты, выявленные при исследованиях на лабораторных конвертерах, однако, несомненно, даст возможность выявить качественные отличия процессов по их влиянию на содержание газов, определить наиболее перспективные варианты и исключить нежелательные и, в конечном счете, выработать достаточно обоснованные базовые рекомендации для конкретных отечественных предприятий, с учетом их существующего и перспективного сортамента проточной продукции.

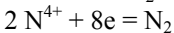
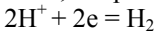
Совершенно естественно, что для обеспечения реализации более эффективных способов снижения газонасыщенности, наряду с современными вариантами, которые в принципе известны, но не нашли применения в Украине (в частности, комбинированные процессы), еще более актуальным направлением обозначенной деятельности является разработка новых способов удаления газов из расплавов.

К данной категории, по мнению авторов настоящей статьи, относится создание способов, основанных на применении низковольтной электриче-

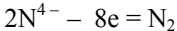
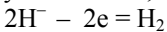
ской энергии. К разряду таких воздействий относится, в первую очередь, наложение на расплав низковольтного электрического потенциала [2], а в последующем также применение комплексной обработки, составляющими элементами которой являются электромагнитное воздействие и использование низковольтного электрического потенциала [3].

Научной основой использования способа наложения электрического потенциала с целью снижения газонасыщенности стали являются, как свидетельствуют современные теоретические представления, особенности строения перерабатываемых расплавов, а именно электронная структура металлической части и ионная структура шлаковой составляющей. Это понимание в полной мере относится к основным, содержащимся в конвертируемом расплаве газам – водороду и азоту. Согласно современным представлениям водород в металле содержится в виде как положительно-го иона H^+ , так и отрицательно заряженного комплекса OH^- . Результаты специальных экспериментов свидетельствуют о правомерности таких представлений так же в отношении азота, элементарные частицы которого обладают, как чаще всего считается, положительным зарядом (по некоторым представлениям отрицательным зарядом).

Особенности строения металлической и шлаковой части расплавов, если рассматривать ход рафинировочных и обменных реакций как это принято в настоящее время не в молекулярном или атомарном, а в электронном виде, позволяют согласно правилу Ле-Шателье, осуществлять сдвиг реакции в нужную сторону, вводя в систему или выводя из нее отрицательно заряженные электроны, которые представляют собой материальную часть постоянного тока, то есть использовать ток отрицательной, либо положительной полярности. Такое воздействие может быть представлено, например, следующими реакциями:



Если, ввиду наличия определенных разночтений в теоретических представлениях, о чем упоминалось выше, считать ионы этих газов отрицательными, реакции молизации, т.е. перехода от ионного к молекулярному состоянию, могут быть представлены таким образом:



Это свидетельствует о том, что вводя или отбирая электроны путем подачи соответственно тока отрицательной или положительной полярности, можно сдвигать равновесие реакции, перевода газы в ту форму, в которой они удаляются из расплава. Здесь имеется полная аналогия с известной оценкой применения принципа Ле-Шателье с позиций ввода тепла в зону реакции или отбора тепла из нее, либо действия повышения или снижения давления, как в реакциях, протекающих с наличием газовых фаз.

Оценивая возможности воздействия низковольтного электрического потенциала следует также, во-первых, иметь в виду, что в результате прохождения электрического тока от фурмы к расплаву в нем возникает хотя и небольшое по напряженности, но достаточно ощутимое электрическое поле, взаимодействие тока с которым формирует электромагнитные силы, способствующие усилению циркуляции в подфурменной зоне [4]. Последняя, как известно, является местом протекания большинства процессов конвертерной плавки, определяющих интенсификацию движения расплава и ускорения полноты протекания реакций, в т.ч. определяющих уровень удаления газов из расплава. Вторым не менее важным обстоятельством, является выявленный при воздействии электрического потенциала эффект снижения температуры подфурменной зоны [5], что, как экспериментально установлено, приводит к замедлению перехода газов из атмосферы и, в конечном итоге, к уменьшению их содержания в металле на выпуске из агрегата.

Касаясь той части объяснений, которая базируется на использовании принципа Ле-Шателье, важно указать, что для постановки исследований по оценке эффективности влияния электрического потенциала на снижение газонасыщенности первостепенную важность имеет положение об ионном строении газов, а не о знаке заряда, так как исследования предусматривают применение тока различной полярности, как положительной, так и отрицательной.

Возможность практического использования указанного способа, в том числе при выплавке конвертерной стали в промышленных условиях, доказана многолетними исследованиями ИЧМ, целью которых на предшествующих этапах было улучшение основных показателей процесса (увеличение выхода жидкой стали, снижение расхода чугуна, повышение тепло-содержания расплава) [6]. В то же время, выявленные при проведении такого рода исследований сведения о природе и возможностях указанного воздействия дают основания рассчитывать на его положительное влияние, т.е. на снижение содержания газов, что подтверждается результатами оценочных экспериментов [7] и предопределяют целесообразность проведения работ в этом направлении. Их содержание, помимо доказательства принципиальной возможности снижения содержания газов при использовании такого метода, должно в конечном счете включать проведение лабораторных, а в дальнейшем и производственных исследований по выявлению оптимальных технологических и электрических параметров, обеспечивающих снижение содержания газов, а также выявление механизма положительного влияния для решения в практическом плане задач максимального снижения газонасыщенности металла, определяющих в первую очередь величину технико-экономических показателей конвертерной плавки.

Обоснованность использования рекомендуемых для снижения содержания газов способов электрического воздействия на конвертируемый

расплав определяется тем, что при этом не только не ухудшаются основные показатели, а наоборот увеличивается выход жидкой стали, снижается износа футеровки, возможно уменьшение доли чугуна в завалке.

Рассматривая возможную эффективность намеченных мероприятий по использованию электрического тока различной полярности и рациональные области их использования, необходимо учитывать, что их реализация желательна не только на стадии выплавки, но и еще более предпочтительна на этапе разливки, поскольку, во-первых этот период является последним по возможности осуществления такого рода мероприятий, а во-вторых, достигнутые при этом результаты не могут быть ухудшены при последующей переработке, поскольку нахождение металла полностью в жидком состоянии заканчивается на этой стадии.

Предполагаемая технология обработки жидкой стали при кислородно-конвертерной плавке должна совмещать все технологически и экономически обоснованные виды обработки металла, однако это нуждается в экспериментальном подтверждении в лабораторных условиях и, в случае положительных результатов, отработке в промышленных условиях. Комплексная технология должна также включать: предотвращение попадания вредных газов из атмосферы в процессе выплавки; входной контроль шихтовых материалов плавки по химическим элементам и газам; скачивание шлака с целью уменьшения количества попадания его составляющих в жидкую металлическую ванну; использование возможности оптимального перегрева жидкой ванны; обработку стали аргоном и физическими воздействиями, использование положительного воздействия наложения разности электрических потенциалов; использование операции гомогенизации путем выдержки стали при заданной температуре, в т.ч. с использованием агрегатов для вакуумирования стали и «печь–ковш».

Приведенная технология предпочтительна также для непрерывной разливки стали, при которой охлаждение и кристаллизация стали происходят с гораздо большей скоростью, чем при разливке в изложницы. Это позволяет в большей степени сохранить достигнутую во время плавки структуру жидкой стали и предотвратить попадание в нее газов из атмосферы, увеличивая тем самым степень положительного наследственного влияния структуры жидкой стали на структуру твердого металла.

Заключение. На основе анализа литературных и экспериментальных данных и обобщения теоретических представлений обоснована необходимость дальнейших исследований по снижению газонасыщенности стали с целью улучшения физико–химических, служебных и эксплуатационных характеристик металлопродукции, в том числе эксплуатируемой в сложных условиях.

Определены наиболее перспективные направления исследований по созданию новых способов снижения в железо–углеродистом расплаве кислорода, водорода и азота, основой которых является применение низковольтной электрической энергии.

1. *Анализ* научно– технических решений по уменьшению содержания газов в железоуглеродистых расплавах при выплавке в конвертере. / В.Ф.Поляков, Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*, Сб.тр.ИЧМ. – 2012. – Вып. 25. – С.146– 155.
2. *Исследование* конвертерного процесса при воздействии электрических потенциалов. / С.И.Семькин, В.В.Смокий, В.Ф.Поляков и др. // *Известия вузов, ЧМ.* – 1992. – № 10. – С.6–8.
3. *Исследование* совместного воздействия на жидкую железо– углеродистую ванну электрических и магнитных полей. / С.И.Семькин, В.Ф.Поляков, Е.В.Семькина // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб. научных трудов ИЧМ. – 1999. – Вып.№3. – С.188– 193.
4. *Исследование* воздействий электрического тока на процессы гидродинамики в сталеплавильной ванне / А.Ю.Дреус, В.Ф.Поляков, С.И.Семькин, А.А.Рядно // *Вісник Дніпропетровського університету.* – Мехніка. – Випуск 5. – Том 1. – 2001. – С.91– 96.
5. *Изучение* распределения температуры по объему ванны при использовании холодного моделирования конвертерного процесса с верхней продувкой. / С.И.Семькин, В.Ф.Поляков, В.В.Вакульчук, С.А.Дудченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – 2009. – Вып.19. – С.140– 144
6. *Опыт развития* и освоения технологии применения низковольтных потенциалов при конвертерной плавке в условиях 60– т конвертеров ПАО «Евраз– ДМЗ им.Петровского». / В.Ф.Поляков, С.И.Семькин, А.Д.Зражевский и др. // *Новости науки Приднепровья. Инженерные дисциплины.* – №3– 4. – 2012. – С.48– 52.
7. *Снижение* газонасыщенности конвертерного металла при воздействии на расплав электрического тока. / С.И.Семькин, В.Ф.Поляков, Е.В.Семькина. // *Теория и практика металлургии.* – № 1(21). – 2001. – С.26–29.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько*

В.Ф.Поляков, С.І.Семікін, Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко, Т.С.Голуб, А.О.Семікіна

Напрями науково- технологічних досліджень щодо зниження газонасиченості конвертерної сталі

Метою дослідження є визначення основних напрямів зниження газонасиченості конвертерної сталі. У роботі визначено напрями найбільш перспективних досліджень з розробки заходів щодо зменшення вмісту шкідливих газів в конвертерній сталі з урахуванням умов металургійного виробництва України. Показано, що значне теоретичне і практичне і значення для можливості зниження газонасиченості розплавів має використання комбінованих процесів виплавки киснево-конвертерної сталі, зокрема, із застосуванням низьковольтних електричних потенціалів.