

ОТЗЫВ
официального оппонента о диссертации
Бабанина Анатолия Яковлевича
«Развитие научных основ и технологии внепечной обработки
конструкционных сталей»

В настоящее время внепечная (ковшовая) обработка при производстве практически всех конструкционных марок стали, является обязательной операцией. При этом следует отметить, что за последние десятилетия технология внепечной обработки конструкционных сталей претерпела значительное усовершенствование в повышении чистоты металла по вредным примесям, газам и неметаллическим включениям (НВ).

При внепечной обработке на конечное качество получаемого металла оказывают влияние значительное количество физико-химических, массообменных, теплофизических и гидродинамических процессов, которые особенно трудно контролируются в агрегатах большой вместимости, что не всегда позволяет обеспечить заданное остаточное содержание НВ, их размер и структурно-химическое состояние и приводит к повышенной отсортировке металлопродукции.

Таким образом работа, посвященная развитию научных основ и технологии внепечной обработки конструкционных сталей на технологическом участке: выпуск металла из конвертера - кристаллизатор МНЛЗ в агрегатах большой вместимости (350 тонн) с учетом особенностей, протекающих в них физико-химических, термодинамических, гидродинамических и теплофизических процессов для обеспечения высоких механических и служебных свойств готового проката, несомненно **является актуальной**.

К **научной новизне** диссертационной работы следует отнести следующее:

1. * Развиты научные основы проектирования сквозного технологического процесса внепечной обработки конструкционных сталей в агрегатах большой вместимости (350-тонн). А именно научно обоснован, разработан и адаптирован к условиям модернизированного сталеплавильного комплекса сквозной

технологический процесс: кислородный конвертер – агрегат «ковш-печь» (АКП) – вакууматор – МНЛЗ, обеспечивающий получение содержания серы на уровне 0,001-0,002 %, водорода - до 1,5-2,0 ppm, азота - до 4-6 ppm, неметаллических включений (НВ) тонкой серии - до 1,0 балла, снижение осевой и точечной неоднородности, улучшение равномерности макро и микроструктуры сляба по малому и большому радиусу, повышение механических и служебных свойств.

2. Развиты научные представления о барботажных процессах, протекающих в сталеплавильном ковше на АКП при продувке металла аргоном, позволяющие определить качественный характер зависимости площади открытой поверхности расплава со специально введенным комплексным параметром (своего рода обратная сила газового потока) в реальных условиях, подтвержденной результатами опытно-промышленных продувок.

3. Развиты представления о зависимости остаточного содержания кальция от технологических параметров. Установлено, что остаточное содержание [Ca] в металле определяется содержанием [Ca] и [Al] по вводу и временем выдержки металла в ковше от ввода на АКП до кристаллизатора МНЛЗ, получены уравнениями регрессии количественно описывающие данные закономерности.

4. Впервые в результате лабораторных высоко-температурных исследований взаимодействия металло-шлаковой системы Ca-Si-Al и CaO-SiO₂-Al₂O₃, структурно-химического анализа установлено, что параметры образующихся алюминатов кальция определяются содержанием Al₂O₃ в модифицируемом включении и количеством введенного кальция.

5. Впервые на основании математического моделирования циркуляционных потоков металла в ступенчатом промежуточном ковше с центральной подачей струи оптимизированы режимы его работы применительно к исключению затягивания шлака в кристаллизаторы и улучшению рафинирования металла от твердых алюминатов кальция под воздействием гидродинамических и барботажных процессов.

6. Развита научные представления о влиянии конструкции днища промежуточного ковша на процессы поточного рафинирования металла от твердых алюминатов кальция. Установлено, что включения размером 30-200 мкм способны покинуть циркуляционные потоки и всплыть в шлак, а менее 30 мкм – структурируются в потоках и движутся со скоростями без продувки и с продувкой аргоном, соответственно 0,40 и 0,44 м/с. В промежуточном ковше с плоским днищем и с продувкой аргоном наблюдается направленное движение потоков металла в шлаковую область. Образование трех вихревых зон способствует коагуляции и удалению НВ, увеличению резидентного времени металла в промежуточном ковше, уменьшению мертвых зон, что улучшает рафинировочные процессы.

Теоретическая значимость работы состоит в следующем:

1. Получено универсальное уравнение определения размеров открытой поверхности металла в сталеразливочном ковше в процессе усреднительной продувки, которое позволяет управлять ее размерами при отсутствии возможности визуального контроля и снизить вторичное окисление металла.

2. Усовершенствован и реализован метод определения по теории МГС-фаз структурно-химического состояния первичных НВ, в результате их модифицирования высокоактивными реагентами и трансформации в результате вторичного окисления на технологическом участке АКП - кристаллизатор МНЛЗ.

Практическая значимость заключается в следующем:

1. Результаты, полученные расчетно-теоретическим путем на основе детерминированной математической модели движения циркуляционных потоков металла в ПК МНЛЗ применялась на ряде металлургических предприятий для оптимизации потоков металла с целью повышения эффективности его рафинирования от НВ и обработки высокоактивными реагентами.

2. Разработанный сквозной ресурсо-энергосберегающий технологический процесс внепечной обработки конструкционных сталей обеспечивает повышение качества, механических и служебных свойств металла и включает

следующие разработанные технологии, технологические операции и заводы их опробования:

- технология снятия переокисленности металла углеродсодержащими материалами в процессе выпуска плавки (РУП «Белорусский металлургический завод»);
- технология внепечной обработки конструкционной трубной стали с контролем размеров открытой поверхности металла при продувке аргоном на АКП (ОАО «МК «Алчевский металлургический комбинат»);
- энерго- и ресурсосберегающая технология внепечной обработки стали на АКП по обеспечению заданного структурно-химического состояния НВ, технология рационального раскисления стали в процессе выпуска плавки и технология поточного рафинирования стали от НВ в процессе непрерывной разливки в ПК МНЛЗ (ПАО «МК «Азовсталь»);
- технология рафинирования стали шлаковыми смесями и порошковыми проволочными модификаторами в СК (НПО «Тулачермет»);
- технология разливки полуспокойной (кипящей) конструкционной стали с регулированием интенсивности кипения металла в изложнице алюминий-содержащей полосой с целью снижения головной обрезки, отсортировки по поверхностным дефектам и увеличения выхода годного (ОАО «Макеевский металлургический комбинат», ОАО «Запорожсталь»);
- новые составы порошкообразных материалов, содержащие высоко активные элементы для рафинирования чугунов и сталей (ремонтно-механические заводы Министерства топлива и энергетики).

Результаты работы достаточно полно обсуждены на региональных, всероссийских и международных конференциях и семинарах. Основные результаты работы отражены в 40 публикациях, в т.ч. в 23 в ведущих рецензируемых изданиях, в 3 монографиях и 4 патентах.

В целом следует отметить хороший уровень и разнообразие экспериментальных и расчетных методов исследования, представленных и использованных автором, квалифицированное обсуждение результатов.

Наряду с несомненными достоинствами, по работе следует сделать следующие **замечания**:

1. По научной новизне:

а. П.4 научной новизны представленной диссертационной работы выглядит следующим образом: «Впервые установлено влияние содержания углерода в металле на формирование структурно-химического состояния первичных НВ и чистоту металла. Научно обосновано и экспериментально подтверждено влияние содержания углерода при выпуске плавки на чистоту металла по НВ...» По моему мнению, данное положение нельзя отнести к научной новизне по следующим причинам:

- во-первых, хотя автором в работе представлена зависимость между содержанием углерода и кислорода, эта зависимость относится к равновесному состоянию расплава, в производственных же условиях металл чаще всего переокислен (это автор в работе тоже отмечает); поэтому основной показатель, который следует оценивать это окисленность металла, достаточно просто определяемая в современных металлургических производствах;
- во-вторых, на разных предприятиях (в зависимости от организации процесса) окисленность металла будет разная, и тем более нельзя говорить об оптимальном содержании углерода.

Новизной можно было бы считать определенную автором оптимальную окисленность металла, обеспечивающую получение благоприятный балл тонкой серии как хрупких, так и крупных НВ.

б. П.6 научной новизны представленной диссертационной работы выглядит следующим образом: «Впервые экспериментально в промышленных условиях установлено влияние системы окислов футеровка-шлак на формирование структурно-химического состояния НВ при их модифицировании высокоактивными реагентами до образования включений глобулярной формы и пластичные

при температуре прокатки». Авторы многих работ представляли промышленные и теоретические исследования в данном направлении.

Положения новизны, указывающие, что «при увеличении окислов алюминия в футеровке с 2,0 до 35% расход кальция на модифицирование увеличивается в 1,2-1,3 раза в сравнении с применением футеровки без окислов алюминия, добавки РЗМ улучшают модифицирующее действие кальция и оптимальная их масса в высокоактивном реагенте равна 30-40 вес. %, при кислой футеровке и кислом шлаке состава кристобаллит (SiO_2 , осн. 0,2) расход кальция на модифицирование НВ снижается на - 25-30%» носят частный характер для конкретных условий производства.

2. По оформлению:

- не понятно, зачем приведен раздел 2; весь раздел можно было привести в приложениях, а не перегружать информацией диссертационную работу;
- в диссертационной работе допущено очень много орфографических ошибок.

3. По методическому подходу к исследованиям:

- на стр. 33 (разд. 1, по содержанию – литературный обзор) приведены реакции (1.1), (1.3), (1.4), (1.7) и (1.8), протекание которых вызывает сомнение, т.к. более «слабые» элементы [Mn] и [Fe] не могут «отобрать» кислород у [Si];
- в разд.2.2 (стр.61) указано, что «Исследования проводили на лабораторной установке, представляющей собой тигельную печь индукционного нагрева Лабораторные плавки проводили в нейтральной атмосфере, которая обеспечивалась плавлением шихтовых материалов в графитовом тигле с графитовой крышкой, имеющей отверстие для выхода газов.». Инертную атмосферу возможно создать только в закрытой печи (вакуумной), в графитовом тигле присутствует восстановительная атмосфера.
- в разд.3.1. приведены две реакции: классическая реакция (3.1), а вот протекание реакции (3.2) маловероятно.

- судя из описания, моделирование дутьевого режима в ковше проведено только для погружной фурмы; как эти результаты перенесены на донные дутьевые устройства?

4. По обсуждению результатов исследований:

- выводы по разд. 3 не понятны и термодинамические расчеты сомнительны, т.к. не сравнены с результатами промышленных или лабораторных исследований; кроме того, наличие в составе НВ оксидов FeO и MnO указывает на неправильно проведенный процесс раскисления, а точнее на недораскисленность металла;

- желательно пояснить результаты, представленные в таблице 5.4, т.к. не понятно, как степень усвоения элемента может быть более 100 %;

- в таблицах 5.7, 5.9 и 5.10 не приведено содержание оксида MgO, а анализ данных приведенных в таблице 5.7 указывает на то, что это содержание на уровне 45 %; как же работать с таким шлаком.

5. По результатам промышленных испытаний:

- по разд.8.1 – смеси для десульфурации чугуна давно разработаны и созданы оптимальные составы; предложенное автором решение носит частный характер для данного предприятия;

- по разд. 8.2 – предлагаемая технология обработки струи металла при выпуске плавки порошкообразными углеродсодержащими материалами примитивная для современных условий и технологически опасная;

- по разд.8.3.4. и 8.3.5 – неправильно говорить об «усвоении» кальция; кальций должен отработать, а не остаться в металле; остатки кальция - это НВ, т.е. кальций не может теряться; таким образом, следует рассуждать не об «усвоении» кальция, а о «полезном использовании»;

- по разд.8.3.6 – проведение процесса десульфурации с использованием кальция нецелесообразно; этот вопрос решается организацией шлакового режима;

- по разд.8.5 – замена при раскислении алюминия на силикокальций – это варварство; кальций - это модификатор и его необходимо использовать как модификатор; это же относится и к использованию алюминия в стальной оболочке, т.к. железосодержащие материалы использовались для утяжеления алюминия, использование же проволоки необходимость в этом исключает.

Сделанные замечания носят частный характер и не меняют общего положительного мнения о рецензируемой работе.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация А.Я. Бабанина является научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенного автором комплекса исследований выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая проблема развития научных основ и технологии внепечной обработки конструкционных сталей, заключающаяся в разработке сквозного технологического процесса внепечной обработки конструкционной стали на основе новых теоретических представлений об образовании первичных НВ, их модифицировании высокоактивными реагентами и трансформации при вторичном окислении на технологическом участке выпуска металла из конвертера - кристаллизатора МНЛЗ в агрегатах большой вместимости с учетом особенностей, протекающих в них физико-химических, термодинамических, гидродинамических и теплофизических процессах, имеющая важное хозяйственное значение для повышения механических и служебных свойств конструкционных сталей, снижения энерго- и материальных ресурсов при их внепечной обработке. Эти разработки обеспечивают получение металла требуемого качества. Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её содержание - паспорту специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» (п.15 Внепечная обработка металлов).

Автореферат диссертации отражает её содержание. Основные результаты работы отражены в 40 публикациях, в т.ч. в 23 в ведущих рецензируемых изданиях, в 3 монографиях и 4 патентах.

Все сказанное выше дает основание считать, что автор рассматриваемой диссертации **Бабанин Анатолий Яковлевич** заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности **05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов**.

Официальный оппонент

Шешуков Олег Юрьевич, доктор технических наук, Главный научный сотрудник лаборатории пирометаллургии черных металлов ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук

620016, г. Екатеринбург,
ул. Амундсена, 101.
Тел. (343) 2679715
E-mail: ferro1960@mail.ru

Подпись О.Ю. Шешукова заверяю

Ученый секретарь ИМЕТ УрО РАН, **С.Х.В.**

В.И. Пономарев

