

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию Бабанина Анатолия Яковлевича на тему «Развитие научных основ и технологии внепечной обработки конструкционных сталей», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

### **Актуальность выбранной темы исследования**

Тема диссертационной работы Бабанина А.Я. относится к одному из актуальных направлений металлургии черных металлов, а именно, к внепечной обработке конструкционных сталей.

Прогресс в создании более современных транспортных газо-нефте транспортных систем невозможен без применения труб большого диаметра, выдерживающих более высокое давление, что обуславливает необходимость разработки технологии производства высокопрочных конструкционных сталей более высокой категории прочности.

В последние годы технологии, направленные на повышение качества, механических и служебных свойств конструкционных сталей развиваются наиболее динамично. Применяются более современное оборудование, в частности, для внепечной обработки стали широкое применение получили агрегаты ковш-печь (АКП), для непрерывной разливки более скоростные машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Разрабатываются более наукоемкие технологии и ведутся разработки сталей более высокого качества и более высокой категории прочности.

Анализ мировой практики производства конструкционных качественных сталей свидетельствует о том, что за последние два десятилетия технология производства конструкционных сталей широкого сортамента претерпела значительное усовершенствование. Это позволило перейти на производство сталей более высокой категории прочности. Многолетний опыт промышленного применения сталей более высокой категории прочности показал значительную техническую целесообразность их применения, а, следовательно, и производства.

Анализ технологических схем сталеплавильного производства трубных сталей свидетельствует, что базовым звеном обеспечения высоких механических и служебных свойств является технологический участок АКП-МНЛЗ.

Многофакторность влияния физико-химических, термодинамических, теплофизических и гидродинамических процессов на технологический участок АКП-МНЛЗ, на качество металла определяет проблему дальнейших исследований, что является актуальным для докторской диссертации Бабанина А.Я. которая направлена на разработку более совершенной технологии внепечной обработки стали, обеспечивающей заданное остаточное содержание и структурно-химический состав неметаллических включений.

Разработка технологии производства высокопрочных конструкционных сталей более высокой категории прочности обязал автора проведению глубоких теоретических исследований, лабораторных и промышленных экспериментов для разработки комплексной технологии внепечной обработки стали с оптимальными технологическими параметрами от выпуска металла из конвертера до разливки на МНЛЗ.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Экспериментальная проверка технологических возможностей комплексной технологии производства конструкционных трубных сталей более высокого качества, проведенная в промышленных условиях, подтверждает правильность результатов проведенных исследований.

Результаты теоретических и лабораторных исследований, а также вычислительного эксперимента с применением математических моделей также подтверждаются результатами промышленных экспериментов с достаточно высокой степенью сходимости.

Согласованность теоретических положений автора современным научным представлениям и фундаментальным положениям физической химии и теплофизики, термодинамики и гидродинамики, удовлетворительная сходимость результатов исследований, полученных различными методами, с экспериментом показывают достаточную степень обоснованности и достоверности научных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы.

### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Научная новизна диссертации автора не вызывает сомнений и определяется следующими положениями.

1. Получили развитие научные основы проектирования сквозного технологического процесса внепечной обработки конструкционных сталей в агрегатах большой вместимости (350-тонн), базирующиеся на принципах управления модифицированием и трансформацией неметаллических включений на основе анализа их структурно-химического состояния, который разработан и адаптирован к условиям модернизированного сталеплавильного комплекса: кислородный конвертер-АКП-КВ-МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком, обеспечивающий содержание: серы – 0,001-0,002%, водорода – до 1,5-2,0 ppm, азота – до 4-6 ppm, 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. Получили развитие научные представления о барботажных процессах, протекающих в сталеплавильном ковше на АКП при продувке

металла аргоном. Проведен вывод уравнения регрессии, связывающего площадь открытой поверхности расплава со специально введенным комплексным параметром (своего рода обратная линейная сила газового потока).

3. Получили развитие представления о зависимости остаточного содержания кальция от технологических параметров, определяется содержанием  $[Ca]$  и  $[Al]$  по вводу и временем выдержки металла в ковше от ввода на АКП до кристаллизатора МНЛЗ, а также количественное описание этих закономерностей.

4. Установлено влияние содержания углерода в металле на формирование структурно-химического состояния первичных НВ и чистоту металла. Показано, что содержание углерода в металле на выпуске существенно влияет на балл тонкой серии как хрупких, так и крупных НВ. При этом, для низколегированных конструкционных сталей оптимальное его содержание в металле на выпуске составляет 0,06-0,08%.

5. В результате лабораторных высоко-температурных исследований взаимодействия металло-шлаковой системы  $Ca-Si-Al$  и  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$  и структурно-химического анализа установлено, что параметры образующихся алюминатов кальция определяются содержанием  $Al_2O_3$  в модифицируемом включении и количеством введенного кальция. При этом, определены формы образующихся неметаллических включений в зависимости от количества кальция в вводимом силикокальцие.

6. Впервые экспериментально в промышленных условиях установлено влияние системы окислов футеровка-шлак на формирование структурно-химического состояния НВ при их модифицировании высокоактивными реагентами. Показано, что при увеличении окислов алюминия в футеровке с 2,0 до 35% расход кальция на модифицирование увеличивается в 1,2 – 1,3 раза. Оптимальная масса РЗМ для улучшения модифицирующего действия кальция в высокоактивном реагенте составляет 30-40 вес. %. При кислой футеровке и кислом шлаке расход кальция снижается на - 25-30%.

7. 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. Для исключения затягивания шлака в кристаллизаторы глубина металла не должна быть менее 0,5 м. Наиболее интенсивное направленное движение твердых частиц алюминатов кальция ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ) из нижних слоев в верхние наблюдается при совместном применении турбостопа и продувки аргоном..

8. Получили развитие научные представления о влиянии конструкции днища промежуточного ковша на процессы поточного рафинирования металла от твердых алюминатов кальция. Включения размером 200-30 мкм

способны покинуть циркуляционные потоки и всплыть в шлак, а менее 30 мкм – структурируются в потоках, о чем свидетельствуют малые значения критерия Ричардсона ( $Ri = 0,0002- 0,0007$ ). В промежуточном ковше с плоским днищем и с продувкой аргоном наблюдается направленное движение потоков металла в шлаковую область и образование трех вихревых зон, способствующих коагуляции и удалению НВ, увеличению резидентного времени металла в ПК, уменьшению мертвых зон, что подтверждает значение критерия  $Ri$ , которое без продувки аргоном на 4-9% больше чем с продувкой.

### **Практическая значимость результатов диссертации**

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

Созданный сквозной ресурсо-энергосберегающий технологический процесс внепечной обработки конструкционных сталей обеспечивает повышение качества, механических и служебных свойств конструкционных сталей широкого сортамента и включает следующие разработанные технологии, технологические операции и составы порошкообразных материалов:

- технология снятия переокисленности металла углеродсодержащими материалами в процессе выпуска плавки;

- технология внепечной обработки конструкционной трубной стали с контролем размеров открытой поверхности металла при продувке аргоном на АКП;

- энерго- и ресурсосберегающая технология внепечной обработки стали на АКП по обеспечению заданного структурно-химического состояния НВ;

- технология рационального раскисления стали в процессе выпуска плавки:

- технология поточного рафинирования стали от НВ в процессе непрерывной разливки в промежуточном ковше;

- технология рафинирования стали шлаковыми смесями и порошковыми проволочными модификаторами;

- технология разливки качественной конструкционной стали с регулированием интенсивности кипения металла в изложнице алюминийсодержащей полосой с целью снижения головной обрезки, отсортировки по поверхностным дефектам и увеличения выхода годного;

- новые составы порошкообразных материалов, содержащие высокоактивные элементы для рафинирования чугунов и сталей.

### **Полнота изложения результатов**

Результаты диссертационной работы широко обсуждены на региональных, всероссийских и международных конференциях и конгрессах, отражены в 40 публикациях, в т.ч. 23 опубликованы в ведущих специализированных научных рецензируемых изданиях, в 2-х монографиях, 1-м справочно-учебном пособии и 4-х патентах.

Широкий уровень апробации работы, в том числе на международных научно-технических конференциях дополнительно подтверждает диссертательность представленной работы. Неоднократно подтверждена эффективность разработанных технологий, новизна полученных результатов, их достоверность, обоснованность и практическая ценность позволяют сделать вывод о представленной диссертации, как в целом законченной работе.

Следует отметить достаточно высокий уровень и широту проведенных расчетно-теоретических исследований и выполненных экспериментов (лабораторных и промышленных), а также представленных автором полученных им результатов, их профессиональное обсуждение.

### **Замечания по диссертационной работе**

По оформлению диссертации особых замечаний нет, хотя в тексте есть опечатки и повторы. Материалы диссертации изложены в логической последовательности, четко и понятно. Стиль изложения диссертации не затрудняет восприятия приведенных результатов. При этом использована современная научная терминология.

Необходимо отметить следующие замечания по работе.

1. Автор проводит промышленные эксперименты в основном только на конструкционных низколегированных трубных сталях. Интересно было бы увидеть применения данного сквозного технологического процесса внепечной обработки на более широком сортаменте сталей, например на судовых, транспортных и других конструкционных сталях.

2. При отработке параметров технологии внепечной обработки стали на АКП не учтено влияние работы электрических дуг при подогреве металла.

3. Поскольку на металлургических заводах используется, как правило, донная продувка расплава стали аргоном, считаю целесообразным исключить из параметров технологии глубину обрабатываемого металла, считая, что обработке подвергается весь его объем (с.121). При этом верхнюю продувку расплава чаще всего используют по аналогии с японскими авторами лишь в лабораторных условиях.

4. При оценке площади барботажной зоны автор вводит понятие «линейной обратной силы». На мой взгляд, более целесообразно привести ее к безразмерному виду, т.к. безразмерные комплексы находят более широкое использование в науке.

5. В автореферате диссертации отсутствует описание зон локального повышения уровня расплава и их практической значимости.

6. Не расшифрован термин «идеальная организованность струи металла», поступающей из СК в ПК в перечне допущений к построению математической модели циркуляционных потоков.

7. На рис. 7.13 область размеров пузырей аргона менее 1 мм, целесообразно исключить как не имеющую практическое значение при внепечной обработке стали.

8. Выражение (с. 206) «... пузырь всплывает к поверхности с постоянной скоростью ...», либо ошибочно (т.к. размер пузырей аргона при всплывании увеличивается в следствии падения гидростатического давления в расплаве), либо нуждается в пояснении.

9. Подход к исследованию рафинирования стали от НВ с позиций теории вероятности не всегда корректен, т.к. встречаются процессы, вероятность которых низкая, но тем не менее, имеющие место, и наоборот, процессы большой вероятности не реализуются. На мой взгляд, более перспективно использование математических моделей «смешанного типа», которые сочетают расчетно-теоретические с экспериментальными данными, полученные в конкретных условиях.

10. Не приведена блок-схема компьютерной программы.

11. В разделе теоретической значимости работы реализация усовершенствованного теоретического метода относится к практической значимости работы.

12. Отсутствует строгое использование системы СИ. Например размерность времени дана не только в сек, но и мин и час, а размерность пространственной протяженности не только в м, но и мм и мкм.

### **Заключение**

Оценивая работу в целом следует отметить, что новые научные положения и высокая практическая значимость полученных в работе результатов показывают, что автором получило развитие решения важной научно-прикладной проблемы, связанной с созданием научных основ и технологии внепечной обработки, а именно разработан инновационный сквозной технологический процесс внепечной обработки конструкционных сталей, позволяющий управлять процессами образования первичных неметаллических включений, их модифицированием высокоактивными реагентами и трансформацией в процессе вторичного окисления.

Созданный сквозной технологический процесс разработан и апробирован в агрегатах большой вместимости с учетом особенностей протекающих в них физико-химических, термодинамических, гидродинамических и теплофизических процессов на технологическом участке от выпуска металла из конвертера до кристаллизатора МНЛЗ.

Применение разработанного процесса позволяет повысить качество конструкционных сталей, в частности повысить механические и служебные их свойства, снизить отсортировку готового проката по УЗК и

поверхностным дефектам, что в совокупности позволяет обеспечить энерго- и ресурсосбережение в условиях производства конструкционных сталей.

Представленная работа по содержанию, объему и оформлению соответствует требованиям ("Положения о порядке присуждения ученых степеней»), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее содержание соответствует паспорту специальности 05.16.02 - Metallургия черных, цветных и редких металлов. Содержание автореферата достаточно полно отражает материалы диссертационной работы.

На основании вышеизложенного, несмотря на выделенные замечания, считаю, что автор представленной диссертационной работы **Бабанин Анатолий Яковлевич** заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности **05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.**

Официальный оппонент:

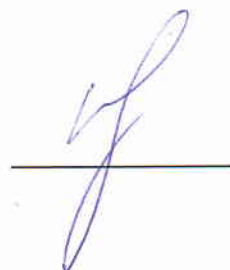
профессор кафедры «Техническая теплофизика»  
физико-металлургического факультета  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»,

доктор технических наук, доцент.

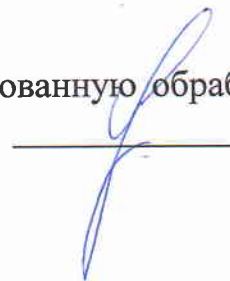
г. Донецк, ул. Челюскинцев 184 а, кв.214

Моб. Тел. +38-099-789-94-61

Захаров Николай Иванович



Я, Захаров Николай Иванович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ  
Инспектор ОК

*Handwritten signature of the official opponent*