

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Володина Алексея Михайловича  
**«Изучение влияния свободной конвекции на гидродинамику печей с барботажным слоем типа печей Ванюкова и Ромелт с целью разработки методов повышения их удельной производительности»**,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Печь Ванюкова, один из наиболее перспективных современных агрегатов цветной металлургии, также как и печь Ромелт, разрабатывалась и создавалась технологами. В настоящее время значительный парк этих печей находится в промышленной эксплуатации у нас в России и в других странах СНГ. В цветной металлургии печи подобного типа используются также для других операций: горизонтальные конвертеры и шлаковозгоночные печи. В связи с этим работа, посвященная повышению технико-экономических показателей перечисленных печей путем оптимизации их гидродинамического режима, безусловно, актуальна.

**Научная новизна** данной работы заключается в том, что в ней впервые отмечена решающая роль гравитационного перемешивания ванны. Математическая модель этого процесса, представленная в работе, позволяет вскрыть основные недостатки гидродинамики действующих печей и найти пути их преодоления.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что созданная по математической модели программа позволяет исследовать работу действующих аппаратов и создавать новые. Также разработаны конкретные предложения по усовершенствованию гидродинамических режимов действующих печей с целью повышения их удельной производительности.

**В первой главе** рассмотрена физика процессов тепло- и массообмена в барботажном слое и показана решающая роль гидродинамики в этих процессах. Существующие методы анализа процессов перемешивания, изучающие этот процесс с гидродинамической и энергетической позиций, не достаточны для полного понимания физики рассматриваемого явления. Автор предлагает в качестве основного механизма перемешивания ванны использовать силу земного тяготения.

**Во второй главе** изложена математическая модель такого перемешивания и программа для ее реализации на ЭВМ. Верификация математической модели осуществляется с помощью сопоставления



экспериментальных данных других авторов с результатами расчета по указанной модели и показывает хорошую сходимость.

**В третьей главе** представлены результаты численных экспериментов, в процессе которых воспроизводились гидродинамические режимы действующих печей: горизонтального конвертера, шлаковозгоночной печи, печи Ванюкова и печи Ромелт. Показано, что во всех случаях объем расплава участвующий в процессе активного перемешивания не превышает 30%. Форсирование процесса продувки за счет увеличения скорости подачи газа, а также с увеличением или понижением высоты расплава над осью фурмы не изменяет характера перемешивания, а также не увеличивает объем ванны, участвующей в активном перемешивании. Таким образом, показано, что, реализуя существующие режимы продувки ванны, невозможно интенсифицировать процесс ее перемешивания и добиться повышения ее удельной производительности.

Разработан рациональный режим продувки, названный струйным режимом, при котором печь становится чувствительной к изменениям мощности продувки. Увеличивая скорость продувки, а также изменяя высоту слоя, оказывается возможным регулировать объем ванны, участвующей в процессе активного перемешивания. При этом по мере увеличения интенсивности продувки локальные значения мощности перемешивания при работе в струйном режиме не увеличиваются, а несколько уменьшаются. Кипение становится спокойным, а брызгоунос сокращается.

**В заключительной части** работы показана не информативность таких параметров как средняя скорость циркуляции ванны и средняя удельная мощность перемешивания ванны, которые являются основными показателями процесса перемешивания при рассмотрении его с позиции механического воздействия газовых потоков на расплав. Также показано, что за счет перевода печи на струйный режим продувки интенсивность процессов массообмена можно увеличить в 3 раза.

Выводы по работе соответствуют содержанию диссертации. Материал диссертации в достаточной степени представлен в публикациях в журналах и на конференциях.

Замечания к работе по автореферату:

1. Автор утверждает, что продувка ванны боковой струёй создает возможность наиболее полного использования механической энергии струи, не ясно на основании чего делается такое заключение. Проводилось ли сравнение с донной продувкой или продувкой сверху?


2. Созданная на основе физической и математической модели программа позволяет на компьютере анализировать гидродинамику ванны



печей Ванюкова и Ромелт и вносить необходимые коррективы в режим продувки. На основе какого программного продукта разработан этот «инструмент»?

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы Володина Алексея Михайловича.

Работа Володина А.М. «Изучение влияния свободной конвекции на гидродинамику печей с барботажным слоем типа печей Ванюкова и Ромелт с целью разработки методов повышения их удельной производительности» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук. Считаю, что диссертант, Володин Алексей Михайлович, заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов».

Профессор кафедры цветных металлов и золота ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
кандидат технических наук,  
профессор  
25.03.2020  Федоров Александр Николаевич

Адрес: Ленинский проспект, д.4, 119049, г. Москва

Телефон: +7 499 236-10-01

Адрес электронной почты: fedorov\_a\_n@mail.ru

Подпись Федорова А.Н. заверяю

ПОДПИСЬ

ЗАВЕРЯЮ

Проректор по безопасности  
и общим вопросам

НИТУ «МИСиС»

М. М. Исаев

