**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕСИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**“МИСиС”**

**На правах рукописи**

**04201457088**

**Комолова Ольга Александровна**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ  
ШЛАКОВОЙ И МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
СТАЛИ, РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ**

**ПРОЦЕССОВ**

**Специальность 05 Л 6.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Окороков Б.Н.**

**Москва**

2014

**Введение 3**

1. **Обзор литературы 8**
   1. **Типы математических моделей 8**
   2. **Кислородный конвертер, как объект математического моделирования.... 13**
   3. **Агрегат ковш-печь, как объект математического моделирования 16**
2. **Физико-химическое описание процесса взаимодействия между**

**компонентами шлаковой и металлической фаз 21**

1. **Применение разработанного физико-химического описания взаимодействия**

**между компонентами системы шлак-металл для создания динамических моделей процесса выплавки полупродукта в кислородном конвертере и внепечной обработки стали 29**

* 1. **Создание математического описания кислородного факела 32**
     1. **Расчет присоединенной массы факела 36**
     2. **Материальный баланс кислородного факела 43**
     3. **Тепловой баланс кислородного факела 45**
     4. **Проверка математической модели кислородного факела 52**
  2. **Описание математической модели реакционной зоны 60**
  3. **Проверка адекватности работы системы шлак-металл для условий ККП 75**
  4. **Разработка динамической модели процесса обработки металла на агрегате**

**ковш-печь (АКП) 79**

* 1. **Проверка адекватности работы разработанного программного**

**обеспечения “АКП” 102**

**Выводы 106**

**Библиографический список 109**

**Приложение 118**

Выводы

1. На основе применения положений термодинамики необратимых процессов разработано физико-химическое описание и математическая модель взаимодействия между компонентами шлаковой и металлической фаз, происходящих в кислородном конвертере и агрегате ковш-печь.

2. Создано физико-химическое описание и математическая модель образования кислородного факела при взаимодействии кислородной струй с атмосферой конвертера. Разработано программное обеспечение “Кислородный факел”, позволяющее прогнозировать химический состав, температуру, скорость, диаметр кислородного факела при встрече с ванной в реальном конвертерном процессе.

3. Проведена проверка работы программного обеспечения “Кислородный факел” по экспериментальным данным. Полученное среднеквадратическое отклонение расчетных значений концентрации кислорода в факеле от экспериментальных составляет 0,02 (объемная доля).

4. Создано программное обеспечение для динамического моделирования процесса обработки металла в агрегате ковш-печь -“АКП”, состоящее из разработанных математических моделей: - взаимодействия между компонентами шлаковой и металлической фазы; - усвоения присадок; - нагрева металла; - перемешивания металла.

5. Проведена проверка работы программного обеспечения “АКП” по результатам химического анализа проб и замеров температуры металла на агрегате ковш-печь ОАО “ОМК-Сталь”. Экспериментально доказано, что программное обеспечение “АКП” позволяет адекватно описывать динамические изменения основных характеристик металла, шлака и реакции процесса на управляющие воздействия. Полученные среднеквадратические отклонения расчетных и экспериментальных значений составляют:

[Mn] - 0.11%; [С] - 0.015%; [Si]-0.02%; [P] - 0.0005%; [S] - 0.0026%;

температура - 17°C.

6. Программное обеспечение было использовано для коррекции технологии внепечной обработки трубных марок стали для условий ОАО “ОМК-Сталь”, так же программное обеспечение "АКП" использовано в качестве учебного тренажера для обучения студентов и персонала предприятия, что подтверждено “Справкой”.

Разработанные математические модели были интегрированы в тренажер “Кислородно-конвертерный процесс”. Тренажер “Кислородно¬конвертерный процесс” разработан в рамках программы развития НИТУ “МИСиС” и используется для обучения студентов (интернет ресурс http://www.misis.ru/tabid/1225/Default.aspx')