

Министерство образования Российской Федерации

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

Научно-техническая библиотека

**Математическое моделирование
металлургических процессов**

Ретроспективный
библиографический указатель
(1995 – 2002 гг.)

НОВОКУЗНЕЦК
2004

Математическое моделирование металлургических процессов: Ретроспективный библиографический указатель / СибГИУ; Сост. Л.В. Крылова. – Новокузнецк, 2004. – 80с.

Цель ретроспективного указателя – ознакомить научных и производственных работников, преподавателей и студентов с литературой о методах математического моделирования в металлургических процессах.

Указатель охватывает отечественные и зарубежные публикации за 1995 – 2002 гг. В указателе отражены книги, статьи из периодических и продолжающихся изданий, депонированные рукописи. Указатель аннотирован.

Описания документов снабжены ссылками на РЖ. База, использованная для составления указателя, представлена в виде списка просмотренных источников.

Материал расположен по разделам. Внутри разделов материал располагается в алфавите авторов и названий.

© ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», 2004

© Крылова Л.В., составление, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ	4
ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	14
ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА	20
ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО	23
ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ	38
МАРТЕНОВСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО	40
КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....	41
ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	48
ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА.....	53
РАЗЛИВКА СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ	61
НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ	65
СПИСОК СОКРАЩЕННЫХ СЛОВ	78
СПИСОК ПРОСМОТРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ	79

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

1. Алгоритмы и сравнительная энергоемкость процессов выплавки стали / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, С.Е. Розин, О.П. Дружинина // Сталь. - 2000. - № 9. - С. 19-24.

2. Александров В.Д. Математическая модель кристаллизации переохлажденных расплавов / В.Д. Александров, Л.И. Смирнов // Расплавы. - 1996. - № 3. - С. 81-84. - РЖ Metallurgia, 1997, 7A59.

Проведен анализ тепловой задачи при кристаллизации переохлажденных расплавов, учитывающий скорость изменения внутренней энергии кристаллизующейся системы при охлаждении, кинетику кристаллизации на основе уравнения Колмогорова и индукционный период зарождения кристаллов, т.е. время запаздывания подключения источников выделения теплоты фазового превращения. Разработана одномерная математическая модель процесса обезуглероживания, которая для переноса кислорода в шлаке, а также для кислорода и углерода в Ме выражена системой уравнений. Данная математическая модель исследована для различных сталеплавильных агрегатов.

3. Артамонова Л.А. Использование персонального компьютера для исследования экспериментально-статистических моделей / Л.А. Артамонова, Н.В. Халепа // Матер. науч.-техн. конф. Новомоск. ин-та Рос. хим.-технол. ун-та. – Новомосковск, 23-26 марта, 1999. Ч. 2. – С. 220-223. – Деп. в ВИНТИ 29.11.99, № 3517-В99. - РЖ Metallurgia, 00.06-15Б.141ДЕП.

Рассмотрена возможность использования специализированного математического пакета программ Math CADGLUS 6.0 для построения математической модели по результатам, полученным при симплексном планировании эксперимента. Обработка данных в ходе эксперимента позволяет быстро корректировать модель и направление планирования на последующих шагах.

4. Григорьев С.М. Математическое моделирование термодинамического равновесия системы Fe (Ni, Co, Mo) - O - H применительно к технологии металлизации окалины прецизионного сплава типа НК / С.М. Григорьев, А.С. Москаленко // Сталь. - 1997. - № 8. - С. 66-69. - РЖ Metallurgia, 1998, 5B188.

Разработана математическая модель термодинамического равновесия применительно к технологии металлизации окалины прецизионного сплава типа НК. Восстановление легирующих элементов осуществляется ступенчато по мере повышения температуры и концентрации водорода в газовой смеси. Лимитирующим звеном в предложенной системе является процесс восстановления железной матрицы. Полученные результаты математического моделирования положены в основу температурного и газового режимов металлизации окалины и отличаются высокой сходимостью с технологическими показателями в промышленном варианте.

5. Дмитриев А.Н. Исследование температурных и скоростных полей с помощью двумерной математической модели при использовании новых технических решений / А.Н. Дмитриев, С.В. Шаврин // Сталь. - 1998. - №5. - С. 5-8.

6. Дубровский С.А. Основы общего подхода к моделированию метал-

лургических процессов: По матер. Рос. науч.-техн. конф., Липецк, 19-21 окт., 1999: Сб. науч. тр. / С.А. Дубровский, Н.Н. Богдашкин // Славяновские чтения (Сварка - XXI век) - Липецк, 1999. - С. 245-250. - РЖ Metallургия, 01.04-15Б. 135К.

Исследование показало, что при достаточной изученности качественности характера поведения системы (в данном случае сталеплавильных процессов), ее бифуркационных точек и режимов, управленческие решения должны носить ситуационный характер и принимать достаточно произвольные свои численные значения. Параметрами состояния реакции, на которые принимаются управления, при этом должны выступать "картины" фазовых портретов и некоторые характеристики аттракторов. Все остальное технологический процесс должен делать сам.

7. Калашников С.Н. Математическая модель и методика решения задачи нестационарного теплообмена совокупности пылевидных железосодержащих частиц / С.Н. Калашников, Л.А. Ермакова, С.П. Мочалов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - № 6. - С. 67-71.

8. Калашников С.Н. Численно-аналитическое моделирование теплообменных процессов в металлургических агрегатах на основе разработки объектных приложений / С.Н. Калашников // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2002. - №8. - С. 46-50.

9. Калинин В.Т. Математическое описание некоторых свойств металлургических шлаков. Ч. 1. / В.Т. Калинин, И.В. Макарова, Д.В. Макаров. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. - 139 с. - РЖ Metallургия, 01.08-15А.19К.

В книге представлено математическое описание поверхности ликвидуса металлургических шлаков и зависимости вязкости их от температуры и состава. Предлагаемые в книге алгоритмы реализованы в виде программы для персонального компьютера на Turbo Pascal.

10. Климентенок Г.Г. Применение модели идеального перемешивания в практике расчетов химико-металлургических процессов: Тез. докл. / Г.Г. Климентенок // Ежегод. науч. конф. мол. ученых "Полез. ископаемые России и их освоение", Санкт-Петербург, 23-24 апр., 1997. - СПб, 1997. - С. 138. - РЖ Metallургия, 1999, 9А84.

Проведен анализ математической модели идеального перемешивания и функций распределения, учитывающих явление отклонения от режима идеального перемешивания, а также определены пределы использования указанной модели для описания структуры потоков реальных аппаратов. Предложена циркуляционная модель, позволяющая учитывать явление неидеального перемешивания потока, имеющего место в реальных лабораторных и промышленных установках и аналитически определен вид интегральных и дифференциальных функций распределения времени пребывания элементов потока для рассмотренной модели.

11. Коновалов А.В. Математическая модель окалинообразования и обезуглероживания металла в процессе нагрева / А.В. Коновалов, О.Ю. Муйземек // Metallургическая и горнорудная промышленность. - 2000. - № 4. - С.

12. Лебедев В.И. Математическая модель участка доменный цех-миксер-мартеновские цехи в классе управляемых потоковых систем / В.И. Лебедев // Мат. и экон. модели в операт. упр. пр-вом. – 1995. - № 1. – С. 3-8, 53. – РЖ Metallургия, 1997, 1В99.

13. Макарова И.В. Математическое описание поверхности ликвидуса некоторых металлургических шлаков / И.В. Макарова, В.Н. Макаров, Д.В. Макаров // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 3. - С.10-13. - РЖ Metallургия, 00.12-15А.74.

Изменения состава сырья, которые могут быть как долговременными, при изменении минеральносырьевой базы предприятия, так и краткосрочными, обусловленными нестабильностью состава каждого из сырьевых компонентов, оказывают существенное влияние на многие технологические свойства, в том числе на т-ру полного плавления шлаков. Предложен алгоритм, позволяющий рассчитывать т-ры ликвидуса, который реализован в виде программы для персонального компьютера.

14. Математическая модель термодинамического равновесия в системе Мо-О-С / С.М. Григорьев, В.П. Коляда, Т.А. Георгиева, М.С. Карпунина // Сталь. - 1997. - № 2. - С. 37-40.

15. Математическое моделирование горелочной системы с наружной камерой горения воздухонагревателя / В.И. Щербинин, Я.П. Калугин, В.М. Рудник, В.И. Лобанов // Сталь. - 2002. - № 7. - С.12-15.

16. Математическое моделирование тепломассопереноса при формировании многослойного слитка / Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов, В.М. Мелихов, В.И. Бондаренко // Metallургическая и горнорудная промышленность. - 2001. - № 6. - С.40-44.

Разработана математическая модель, вычислительный алгоритм и программное обеспечение исследования гидродинамических и тепломассообменных процессов.

17. Ольшевский А.Ю. Разработка математической модели тепловых и технологических процессов периода доводки в подовых агрегатах / А.Ю. Ольшевский, Б.Н. Окорочков // Metallург. - 2001. - № 8. - С. 39-42. - РЖ Metallургия, 02.03-15В.121.

Подовый сталеплавильный агрегат с вводом природного газа и мазута в качестве энергоносителей и интенсификацией процесса кислородом через погружные продувочные фурмы рассмотрен как сложная открытая физико-химическая система.

18. Оптимизация процессов производства стали – применение новых способов моделирования нестационарных состояний процесса / К. Маркс, О. Пютц, З. Редл, М. Хигеман, Т. Тиман // Черные металлы. – 2001. - № 10. – С. 42-46.

19. Охотский В.Б. Моделирование барботажных процессов. Пузыри / В.Б. Охотский, К.В. Войтюк // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 11. - С.13-14.

20. Охотский В.Б. Модель турбулентной струи / В.Б. Охотский // Изв.

вузов. Чер. металлургия. - 2001. - № 10. - С. 6-8.

21. Падерин С.Н. Термодинамическое моделирование окислительных процессов при обезуглероживании стали / С.Н. Падерин, П.С. Падерин, И.В. Кузьмин // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2002, № 5. – С. 6-11.

22. Приходько Э.В. База данных и модели для прогнозирования плавкости железорудных материалов / Э.В. Приходько, А.Ф. Хамхотько, Д.Н. Тогобицкая // Сталь. - 1998. - №9. - С. 7-9.

23. Сабирзянов Т.Г. Субрегулярный вариант общей математической модели термодинамики металлургических шлаков: Докл. [6 Международная научно-техническая конференция "Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах", Мариуполь, сент., 2000] / Т.Г. Сабирзянов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - № 12. - С. 53-55. - РЖ Металлургия, 02.08- 15А.25.

Дано краткое описание предложенной математической модели термодинамики металлургических расплавов и субрегулярного варианта, относящегося к многокомпонентным шлаковым расплавам.

24. Селиванов В.Н. Математическое описание кристаллизации полуспокойной стали в системе Fe - C – O - Mn - Si - S – P / В.Н. Селиванов, А.М. Столяров, Б.А. Буданов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 9. - С.19-22.

При численной реализации математической модели теплообмена ваграночного процесса трехмерную модель можно привести к одномерной, используя алгоритм усреднения начальной температурной кривой газа.

25. Соколовская Л.А. Использование математического моделирования при исследовании теплофизических процессов взаимодействия расплава с твердыми добавками / Л.А. Соколовская, В.П. Осипов, В.А. Мамишев // Процессы литья. - 2000. - № 4. - С. 72-78. - РЖ Металлургия, 01.11-15А.69.

Представлена методика математического моделирования температурного состояния теплофизической системы частица-расплав с фазовыми переходами типа плавление-затвердевание. Методом вычислительного эксперимента изучены условия внутреннего теплообмена в зоне перемешивания стальной дроби с жидким металлом и в зоне спокойного металла.

26. Сорокин Н.А. Математическая модель волнообразования в сталеплавильной ванне / Н.А. Сорокин, В.С. Богушевский, Ю.В. Оробцев // Сталь. - 1995. - № 2. - С. 15-20. - РЖ Металлургия, 1995, 7В206.

Разработанная математическая модель волнообразования в сталеплавильной ванне адекватно описывает процесс и может быть успешно использована для различных исследовательских целей: прогноз характеристик переходных режимов работы, имитационное моделирование процесса для отработки новых технологий с элементами осциллирующего эффекта, а также в рамках АСУ ТП для контроля и управления плавкой.

27. Суханов Е.Л. Оценка сигнальной чувствительности технологических объектов / Е.Л. Суханов, Л.П. Суханова // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 5. - С. 66-68. - РЖ Металлургия, 00.10-15А.42.

Для оценки информационно-метрологических свойств математических моделей технологических объектов рекомендуется использовать предлагаемые

функции и коэффициенты сигнальной чувствительности, которые находятся методом вычислительного эксперимента при вариации входных переменных модели в пределах погрешностей их измерений. Новые характеристики моделей оказались пригодными для выявления функциональных взаимосвязей между входными и выходными показателями технологических процессов, что послужило основой разработки натурно-модельных систем.

28. Тихонова И.В. Математическая модель для расчета металлического рекуператора в нестационарном режиме / И.В. Тихонова, С.Л. Соломенцев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 7. - С.15-19.

29. Ткачев Л.Г. Компьютерный расчет нагревателей электропечей сопротивления, применяемых в металлургии / Л.Г. Ткачев, М.Я. Погребанский // Электрометаллургия. - 2000. - № 9. - С.42-46.

30. Тогобицкая Д.Н. Информационно-математическое моделирование шлаковых и железобокситовых расплавов / Д.Н. Тогобицкая // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1998. - № 4. - С. 7-10. - РЖ Металлургия, 1999, 10А33.

На основе современных информационных технологий и физико-химических критериев структуры изложены принципы и методология информационно-математического моделирования шлаковых и железобокситовых расплавов при изучении ионообменных процессов в системе "Ме-шлак". На конкретных примерах показана эффективность применения разработок.

31. Тогобицкая Д.Н. Моделирование ионообменных процессов в системе металл-шлак по ходу окислительной плавки / Д.Н. Тогобицкая, Э.В. Приходько // Тр. 5-го Конгр. сталеплавильщиков, Москва, 7- 10 окт., 1996. - М., 1999. - С. 92-96. - РЖ Металлургия, 00.10-15А.50.

Существующие теории строения металлургических расплавов, методы расчета их свойств и результатов взаимодействия отличаются большим многообразием. Несмотря на большое число исследований в этой области, проблема не изучена в той мере, чтобы общие физико-химические положения теории жидкого состояния можно было использовать для прогнозирования конечных результатов технологических процессов. В связи с этим весьма актуальным является создание единой методологической основы и соответствующих инструментальных средств для моделирования реальных металлургических систем и процессов их взаимодействия.

32. Храпко С.А. Интегрированная компьютерная система "Оракул" для моделирования и оптимизации плавки стали. Справочник пользователя / С.А. Храпко, Е.Н. Иноземцева; Донец. гос. техн. ун-т. – Донецк, 1995. – Деп. В ГНТБ Украины 05.04.95, № 792-Ук95. - РЖ Металлургия, 1995, 9В118Деп.

Интегрированная компьютерная система "Оракул" представляет собой программу для персональной ЭВМ, которая позволяет решить задачи в области сталеварения. Программа включает в себя две основные части: термодинамическую модель плавки для расчета состава металла и шлака и расчет оптимального состава завалки. Вся работа этой программы построена на диалоге пользователя и компьютера, который осуществляется в интегрированной среде, обес-

печивающий доступ к различным частям программы.

33. Циммерман С.Г. Математическое моделирование, контроль и оптимизация сталеплавильных процессов / С.Г. Циммерман // КомпьюЛог. - 2001. - № 1. - С.53 - 58. - РЖ Metallургия, 02.07-15В.121.

Математические модели всех основных сталеплавильных процессов основаны на использовании тех или иных форм уравнений макроскопического переноса вещества и энергии, а также химические превращения. В качестве основных уравнений массо-энергопереноса используются линейные уравнения диффузии и теплопроводности.

34. Цымбал В.П. Ретроспектива развития математического моделирования и компьютерных систем обучения для сталеплавильного производства / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, Н.М. Кулагин // Матер. междунар. науч.-техн. "Пр-во стали в 21 в.: прогноз, процессы, технол., экол.", посвящ. 90-летию со дня рождения проф. В.И. Явойского, Киев-Днепродзержинск, 15-19 мая, 2000. - Киев. - 2000. - С. 571-576. - РЖ Metallургия, 01.02-15В.43К.

Рассмотрена почти сорокалетняя ретроспектива развития математического моделирования сталеплавильных процессов, использования моделей для оптимизации процессов и создания на их основе обучающе-тренирующих систем одновременно с процессом становления творческого коллектива

35. Численное моделирование ваграночного процесса / И.Ф. Селянин, Г.Л. Маркс, А.И. Куценко, Л.М.Вальдман // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 12. - С. 40-45. - РЖ Metallургия, 1996, 9А73.

36. Численное моделирование времени распада металлургических шлаков / В.А. Долинский, И.Ф. Селянин, В.М. Федотов, С.И. Селянин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 10. - С.10-13.

37. Швыдкий В.С. Математическое моделирование при исследовании и оптимизации теплофизических процессов и объектов: Научные школы УПИ-УГТУ / В.С. Швыдкий // Материалы Международной конференции, Екатеринбург, 1998. Вып. 2. С творческим наследием И. Китаева - в XXI век. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1998. - С. 36-40. - РЖ Metallургия, 02.01-15В.135.

На современном этапе развития методологии математического моделирования одних моделей теплофизических процессов для моделирования сложных технологических объектов уже недостаточно - нужны информационно-математические модели.

38. Шубина Ю.А. Компьютерное моделирование сталеплавильного процесса с целью оптимизации режима ведения процесса выплавки кипящей стали: Metallургия и образование / Ю.А. Шубина // Матер.1-й Междунар. конф., Екатеринбург, 7-9 июня, 2000. - Екатеринбург, 2000. - С. 101. - РЖ Metallургия, 01.01-15В.102.

С появлением современных компьютерных пакетов программ появилась возможность моделирования процесса выплавки Ст и выявления его оптимального режима. Одним из примеров оптимизации технологических параметров является качество применяемых шихтовых материалов и лома. На раннем этапе процесса особое значение придается химическому составу лома и чугуна для

оценки интервала химического состава готовой стали. Отмечена тесная связь между качеством и издержками производства. Другим примером оптимизации технологических параметров для удешевления стоимости готовой Ст является вдувание порошкообразных материалов в печь.

39. Щедрин В.М. Основы альтернативной металлургии железа: теоретические и экспериментальные предпосылки / В.М. Щедрин // Сталь. - 2001. - № 12. - С. 8-13.

40. Яковлев Ю.Н. Математическая модель обезуглероживания жидкой стали с учетом микро- и макропереноса / Ю.Н. Яковлев, Л.В. Камкина // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та. - 1999. - № 7. - С. 63-71. - РЖ Металлургия, 2000, 00.02-15А68.

Определены основные принципы построения математической модели процесса окисления углерода в жидкой стали, объединяющей два масштабных уровня: макроуровень, включающий перенос в объемах расплава, и микроуровень - процессы на границах дисперсных фаз. Сделана попытка объединения математического описания крупно- и мелкомасштабного уровня. Численная реализация модели показала высокую степень адекватности реальным процессам.

41. Яковлев Ю.Н. Математическая модель обезуглероживания жидкой стали с учетом микро- и макропереноса / Ю.Н. Яковлев, Л.В. Камкина // Вестник Приазовского гос. техн. ун-та. - 1999. - № 7. - С. 63-71. - РЖ Металлургия, 00.02-15А.68.

Определены основные принципы построения математической модели процесса окисления углерода в жидкой стали, объединяющей два масштабных уровня: макроуровень, включающий перенос в объемах расплава, и микроуровень - процессы на границах дисперсных фаз. Сделана попытка объединения математического описания крупно- и мелкомасштабного уровня. Численная реализация модели показала высокую степень ее адекватности реальным процессам.

42. Яковлев Ю.Н. Математическое моделирование влияния процессов массообмена на критическую концентрацию углерода при его окислении в сталеплавильной ванне: Докл. [6 Международная научно-техническая конференция "Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах", Мариуполь, сент., 2000] / Ю.Н. Яковлев, А.Г. Величко, Л.В. Камкина // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - № 12. - С. 51-53. - РЖ Металлургия, 02.08-15А.75.

Методами математического моделирования установлено, что существует критическая концентрация углерода при его окислении (0,025-0,055 %), при которой происходит смена лимитирования процесса потоком диффузии кислорода на лимитирование потоком диффузии углерода.

43. Яковлев Ю.Н. Разработка математических моделей сталеплавильных процессов с использованием принципов их физико-химического подобия / Ю.Н. Яковлев, Л.В. Камкина // Труды 3 Конгресса сталеплавильщиков, Москва, 10-15 апреля, 1995. - М., 1996. - С. 109-113. - РЖ Металлургия, 1996, 11В133.

В теории подобия используют три основных способа вывода критериев:

вывод критериев из уравнений, описывающих процесс, метод размерностей и приведение уравнений к безразмерному виду. В работе применен метод приведения дифференциальных уравнений к безразмерному виду, что позволяет получить не только критерии подобия, но и выразить основные связи между ними.

44. Ясев А.Г. Некоторые особенности и проблемы математического моделирования технологических процессов в металлургии / А.Г. Ясев // Теория и практика металлургии. - 1998. - № 3. - С. 4-7. - РЖ Металлургия, 1999, 4А31.

Рассмотрены некоторые общие особенности математического моделирования при исследовании, разработке и использовании технологических процессов в различных областях металлургии.

45. Автоматическое получение термодинамических моделей с использованием компьютерной алгебры = Automatic implementation of thermodynamic models using computer algebra / M. Gatier // Comput. and Chem. Eng. - 1999. - 23, № 9. - С. 1229-1245. – Англ. - РЖ Металлургия, 01.12-15Б.16.

Разработан новый пакет компьютерных программ Thermath для автоматического получения и использования термодинамических моделей, начиная от моделей на основе свободной энергии Гиббса и кончая уравнениями статики.

46. Компьютерная термодинамика и моделирование шлаков применительно к получению стали = Computational thermodynamics and slag modelling applied to steel elaboration / Gaye Henri, Lehmann Jean, Rocabois Philippe, Ruby-Meyer Fabienne // Steel Res. - 2001. - 72, № 11-12. - С. 446-451. – Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 02.10-15А.65.

Представлены библиографический обзор последних разработок в моделировании шлаков, термодинамические модели и базы данных для расчетов диаграмм состояния и свойств шлаков. Приведены примеры использования моделей в разных процессах получения чугуна и стали, рафинирования или микролегирования в ковше.

47. Математическая модель кинетики восстановления оксида железа в электропечных шлаках инъекцией графита = A mathematical model for the reduction kinetics of iron oxide in electric furnace slags by graphite injection / R.D. Morales, H. Rodriguez- Hernandez, P. Garnica-Gonzalez, J.A. Romero-Serrano // ISIJ International. - 1997. - 37, № 11. - С. 1072-1080. – Англ. - РЖ Металлургия, 1998, 6А67.

Моделировали математически инъекцию частиц графита в электронные шлаки для уменьшения содержания оксида железа. Модель учитывает проникновение струи в жидкость, поверхностно-активные эффекты кремнезема в шлаках и характеристики между несущим газом и твердыми частицами в жидкой фазе.

48. Математическая модель одновременных реакций на границе шлак-металл в многокомпонентной системе = Mathematical model of simultaneous slag-metal reactions in multi-components system / Wu Pingnan // ISIJ International. -

1997. - 37, № 10. - С.929-935. - Англ. - РЖ Металлургия, 1998, 5А58.

Предложена математическая модель, описывающая одновременные реакции в многокомпонентной системе при обработке чугуна на межфазной поверхности для точной оценки массопереноса в граничных пленках. Эта модель позволяет точно оценить межфазные концентрации и химические реакции на межфазной поверхности. Определенные кинетические параметры модели позволяют сделать следующие выводы. Для описания скорости обезуглероживания необходимо принимать во внимание явления торможения при высоких парциальных давлениях кислорода.

49. Математические модели и их экспериментальная верификация в промышленных процессах обезуглероживания жидких нержавеющей сталей = *Mathematical models and experimental verification in the decarburization of industrial scale stainless steel melts* / J. Reichel, J. Szekely // *Iron and Steelmaker*. - 1995. - 22, № 5. - С. 41-48. – Англ. – РЖ Металлургия, 1996, 5А90.

Представленное математическое описание процесса вакуумно-кислородного (VOD) и аргоно-кислородного (AOD) обезуглероживания жидких Ст включает дифференциальное уравнение нулевого порядка, отображающее первую фазу процесса, дифференциальное уравнение первого порядка, аппроксимирующее кинетику обезуглероживания во второй фазе и уравнение кинетики в критической точке, соответствующей переходу от постоянной скорости обезуглероживания к убывающей.

50. Математическое моделирование движения жидкости и включений в сосуде при естественной конвекции = *Mathematical modelling of flow and inclusion in vessel with natural convection* / Ishii Toshio, Kubo NoriKo, Tarit K. Bose, Iguchi Manabu // *ISIJ International*. - 2001. - 41, № 10. - С. 1174-1180. - Англ. - РЖ Металлургия, 02.05-15Б.11.

Разработана математическая модель для определения поведения включений Al_2O_3 различных размеров в потоке расплавленной стали. В этой модели учтено влияние на поведение частиц трех факторов: ускорение движения жидкости, ускорения силы тяжести и турбулентных вихрей.

51. Моделирование выделения неметаллических включений на различных этапах производства стали = *Simulation de la precipitation de inclusionesen diferentes etapas del procesamiento del acero liquido* / V. Carreno, J.M. Cabrera, R.D. Morales, A. Romero // *Rev. met. / CENIM*. - 1998.- 34, Num. extraord. - С.151-157. – Исп.; рез. Англ. - РЖ Металлургия, 1999, 1А61.

Проведено математическое моделирование выделения НВ на различных этапах производства Ст при предположении, что включения образуются при вторичном окислении в присутствии легирующих компонентов в Ст (Al, Ca и т.п.) при начальном процессе взаимодействия слабых раскислителей с растворенным кислородом.

52. Моделирование и управление процессами в черной металлургии = *Modelisation et conduite des processus siderurgiques* / Birat JeanPierre // *Rev. ATB. Met.* - 1995. - 35, № 3-4. - С. 41-60. – Фр. - РЖ Металлургия, 1996, 10В128.

Рассмотрены идеология и методология математического моделирования

физико-химических явлений, технологических процессов и производств в ЧМ, а также построения моделей различных уровней. Приведены примеры из опыта IRSID (Франция). Моделирование стало универсальным инструментом для решения технологических и организационных задач. Важную роль продолжает играть эксперимент, используемый для проверки адекватности моделей и для определения необходимых параметров.

53. Моделирование процессов обработки материалов / Li Dianzhong, Xhang Yutuo, Liu Shi, Li Shenyang // *Jinsu xuebao = Acta met. sin.* - 2001. - 37, № 5. - С. 449-452. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 02.01-15Б.134.

Рассмотрена техника компьютерного моделирования процессов обработки материалов, ее современное состояние и направления развития. Даны предложения по совершенствованию техники моделирования.

54. Физическое моделирование вдувания инертного газа в жидкую сталь = *Physical modelling of the inert gas injection in the liquid steel* // *Sci. Bull. "Politechn."* - Univ. Bucharest. - 2000. - 62, № 3. - С.87-97. - Англ.; рез. рум. - РЖ Металлургия, 01.12-15Б.6.

Представлена эмпирическая математическая модель обобщающего характера для изучения перемешивания расплава при продувке инертным газом. Полученное уравнение позволяет быстро устанавливать размеры пузырьковой зоны в зависимости от давления инертного газа, глубины погружения и геометрической конфигурации продувочной фурмы.

55. Физическое моделирование непрерывного сталеплавильного процесса донной продувки. Ч.2. Совершенствование реализации процесса и соотношений массопереноса = *Physical modeling of bottomblown continuous steel-making. Part II. Development of mass transfer correlations and process feasibility* / С.А. Abel, R.J. Fruehan, A. Vassilicos // *Iron and Steelmaker.* - 1995. - № 8. - С.49-64. – Англ. - РЖ Металлургия, 1996, 11В136.

Поточный способ получения листов исследовали на гидравлической модели с целью создания математической модели обезуглероживания при стационарном ходе процесса. В ходе моделирования установлено, что условия перемешивания и кинетическая энергия вдуваемого газа в промышленных агрегатах и на модели достаточно тождественны.

56. Численное моделирование для измерения атмосферного потенциала углерода методом электрического сопротивления = *Numerical simulation for measuring atmosphere carbon potential by electric resistancemethod* / W.M. Zhang, M.J. Hu, Y. J. Li и др. // *Acta Met. Sin.* - 2000. - 13, № 2. - С. 811-815. – Англ. - РЖ Металлургия, 00.10-15А.55.

На основе компьютерного численного моделирования измерений атмосферного потенциала углерода методом электросопротивления и экспериментальных данных авторы указывают на то, что измеренный результат отражает среднее содержание углерода.

ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

57. Андреев Е.Е. Исследование работы шаровой мельницы в замкнутом цикле на математических моделях / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов, В.В. Львов; С.-Петербург. гос. горн. ин-т. - СПб, 2000. - Деп. в ВИНТИ 25.04.2000, № 1188-В00 - РЖ Metallurgia, 00.09-15В.43Деп.

С помощью математического моделирования выбраны оптимальные режимные параметры цикла мокрого замкнутого измельчения на 1-ой секции ОФ ГМК "Печенганикель". При моделировании мельницы изменялись следующие условия: частота вращения барабана, степень заполнения шарами, твердость измельчаемой руды, крупность руды, производительность мельницы, подача воды в зумпф.

58. Боковиков Б.А. Математическое моделирование динамики процесса обжига окатышей на конвейерной машине / Б.А. Боковиков, В.М. Малкин, М.И. Найдич // Metallургическая теплотехника. – 2002. - № 8. – С. 25-31.

59. Боковинова А.Х. Комплексный расчет тепломассообменных процессов при окислительном обжиге на конвейерной машине / А.Х. Боковинова, В.М. Малкин, С.Г. Меламуд // Сталь. - 1995. - № 4. - С. 8-10. - РЖ Metallurgia, 1995, 9В83.

Разработана и реализована на ПЭВМ математическая модель процесса окислительного обжига окатышей на конвейерной машине. Модель включает расчет тепло- и массообмена в слое окатышей и расчет теплообмена в обжиговой тележке, в результате которого определяются температурные поля в бортах тележки, колосниках, средней и крайней балках тележки. Процесс в слое и тележке взаимно зависимы; при фильтрации сверху вниз газ попадает в тележку, пройдя через слой, а при продувке снизу газ поступает в слой после теплообмена в тележке.

60. Буткарев А.А. Математическая модель теплообмена в плотном слое и ее использование для оптимизации конструктивных и технологических параметров процесса термообработки окатышей на конвейерных машинах / А.А. Буткарев, В.Г. Лисиенко, Г.М. Майзель // Научные школы УПИ - УГТУ: Материалы Международной конференции, Екатеринбург, 1998. Вып. 2. С творческим наследием Б.И. Китаева - в XXI век. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1998. - С.144-150. - РЖ Metallurgia, 02.01-15В.86.

Предложена методика исследования технологического процесса обжига окатышей с целью получения исходных данных для оптимизации его технологических и конструктивных параметров. Осуществлена постановка задач оптимизации параметров процесса термообработки окатышей на конвейерных машинах по различным критериям.

61. Буткарев А.А. Моделирование переходных режимов отжига окатышей на конвейерных машинах / А.А. Буткарев, В.Г. Лисиенко, Г.М. Майзель // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 5. - С. 15-18. - РЖ Metallurgia, 1998, 4В152.

Разработана и реализована на ЭВМ двухмерная математическая модель

динамики процесса термообработки на обжиговых конвейерных машинах слоя железорудных окатышей. Модель позволяет рассчитывать т-ры окатышей и газов по высоте слоя, длине машины и во времени. Модель целесообразно использовать для оптимизации переходных режимов и для расчета систем автоматического регулирования контролируемых технологических параметров.

62. Буткарев А.А. Оптимизация параметров процесса термообработки окатышей на конвейерных машинах / А.А. Буткарев, А.П. Буткарев // Сталь. - 2000. - №4. - С.10-16.

63. Вейнский В.В. Разработка математической модели, учитывающей влияние различных факторов на гранулометрический состав металлургического кокса в процессе его получения / В.В. Вейнский, Н.П. Сысоев, А.В. Горохов // Теория и технология металлургического производства: Межрегиональный сборник научных трудов. Вып.2. Магнитогор. гос. техн. унт. - Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2001. - С. 138-143. - РЖ Металлургия, 02.04-15В.92.

Расчет по разработанной математической модели может являться методом не только для предсказания свойств кокса по крупности, но и для регулирования его состава.

64. Григорьев С.М. Математическое моделирование параметров интенсификации технологии получения металлизированного легирующего материала / С.М. Григорьев, Т.А. Георгиева, О.В. Марков // Тр. Запорож. гос. инж. акад. Металлургия. - 2001. - № 5. - С. 33-36. - РЖ Металлургия, 02.07-15В.79.

Разработана математическая модель параметров применительно к технологии получения металлизированных брикетов для выплавки легированных сталей. Установлена функциональная зависимость между тепловым режимом процесса металлизации металлооксидной шихты, составом конечных продуктов и потерями легирующих элементов.

65. Дмитриев А.Н. Роль моделирования в разработке и совершенствовании пирометаллургических процессов переработки комплексного сырья Урала / А.Н. Дмитриев // Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: Материалы Международной конференции, Екатеринбург, 2000. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2000. - С.182-186. - РЖ Металлургия, 02. 02-15В.130.

Математические модели дают возможность применять для изучения процессов и явлений новые инструменты - аналитические методы исследования, позволяющие определять не только одномерные, но и двумерные распределения в объеме агрегатов скоростей, т-р, степеней восстановления и других параметров.

66. Захарченко В.Н. Математическое моделирование влияния добавок лигносульфонатов на металлургические свойства окатышей / В.Н. Захарченко, Д.А. Ковалев, Н.В. Терещенко // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1996. - № 3-4. - С. 5-9. - РЖ Металлургия, 1998, 1В119.

В лабораторных условиях разработана методика получения сырых и обожженных окатышей с применением технических лигносульфонатов в жидком и порошкообразном виде. Данная технология обеспечивает получение ока-

тышей с повышенными металлургическими свойствами. В результате исследований получены математические модели, описывающие влияние расхода лигносульфонатов и т-ры обжига на металлургические свойства окатышей.

67. Информационное обеспечение системы управления технологическим процессом термообработки окатышей на конвейерных машинах / А.А. Буткарев, Г.М. Майзель, А.П. Буткарев и др. // Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: Материалы Международной конференции к 300-летию металлургии Урала, Екатеринбург, 2000. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2000. - С. 64-71. - РЖ Металлургия 02.03-15В.56.

Использование технологических и теплотехнических данных в сочетании с методами математического моделирования и оптимизации позволило на базе современных технических средств реализовать современную высокоэффективную систему автоматизированного управления процессом производства окатышей с широким кругом информационных и управляющих функций.

68. Исаев Е.А. Математическая модель оптимизации процесса окомкования железорудных концентратов / Е.А. Исаев, И.Е. Чернецкая // Металлы. - 2001. - №1. - С. 14-19. - РЖ Металлургия, 02.03-15В.55.

Представлена математическая модель оптимизации процесса окомкования на основе влажности железорудного концентрата, пористости частиц, тонины помола, условий окомкования, позволяющая рассчитать с учетом основности шихты минимально необходимое количество бентонита для наиболее выгодного режима производства окатышей с широким кругом информационных и управляющих функций.

69. Кармазин В.В. Интерпретация формул магнитной восприимчивости для целей компьютерного моделирования / В.В. Кармазин, М.А. Бикбов, А.А. Бикбов // Горн. инф.-анал. бюл./ Моск. гос. горн. ин-т. - 1999. - № 4. - С. 9-12. - РЖ, Металлургия, 00.07-15В.53.

Создана универсальная математическая модель величины магнитной восприимчивости измельченных частиц магнетитовых кварцитов для условий обогащения магнитной сепарацией в полях низкой напряженности.

70. Майзель Г.М. Опыт разработки и промышленного применения математических моделей для управления процессом производства окатышей на конвейерной машине / Г.М. Майзель, А.А. Буткарев, А.П. Буткарев // Горная промышленность. - 2000. - № 5. - С.45-47.

71. Математическая модель процесса обжига карбонатных материалов / Д.В. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко, Е.Г. Дмитриева, Я.М. Гордон // Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: Материалы Международной конференции к 300-летию металлургии Урала, Екатеринбург, 2000. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2000. - С.142-148. - РЖ Металлургия, 02.01-15В.26.

Разработана математическая модель процесса обжига карбонатных материалов в шахтной печи и на основании расчетов по ней сделаны рекомендации по снижению вредных выбросов окислов азота и устранению СО, оптимальному размеру пусков обжигаемого материала, рациональному расположению

устройства ввода и отвода газов по рабочему пространству.

72. Математические модели для управления процессом производства окатышей на конвейерной машине / А.П. Буткарев, А.А. Буткарев, Г.М. Майзель, Е.В. Некрасова // Сталь. - 2000. - № 3. - С.10-13. – РЖ Metallургия, 00.11-15В.10.

Использование технологических и теплотехнических данных в сочетании с методами математического моделирования позволило реализовать современную высокоэффективную систему автоматизированного управления процессом производства окатышей с широким кругом информационных и управляющих функций

73. Математическое моделирование процесса слоевой сушки железорудных окатышей / Г.М. Майзель, А.П.Буткарев, Ф.Р. Шкляр, И.В. Ждановская // Сталь. - 1995. - № 4. - С. 11-15. - РЖ Metallургия, 1995, 9В82.

Авторами разработан ряд математических моделей, позволяющих решать задачи расчета процесса слоевой сушки окатышей

74. Математическое обеспечение АСУ ТП производства железорудных окатышей на конвейерных машинах / А.П. Буткарев, Г.М. Майзель, Е.В. Некрасов, А.А.Буткарев // Сталь. - 1995. - № 5. - С. 67-75. - РЖ Metallургия, 1995, 9В79.

Разработан ряд математических моделей процесса обжига окатышей на конвейерной машине. Опыт создания АСУ ТП на Лебединском, Костомушском и Михайловском ГОКах показал, что наиболее перспективным является использование детерминированных математических моделей.

75. Меламуд С.Г. Модель жидкофазного спекания в дисперсных многокомпонентных железорудных системах / С.Г. Меламуд, Б.П. Юрьева, Л.Б. Брук // Металлы. - 2001. - № 4. - С. 3-6. - РЖ Metallургия, 02.06- 15А.79.

Разработана модель жидкофазного спекания, представляемого как течение всей массы зерен и расплава в область пор.

76. Найдич М.И. Прогнозирование надежности основного технологического оборудования обжиговых конвейерных машин / М.И. Найдич, В.Л. Малкин // Сталь. - 1995. - № 4. - С. 15-18. - РЖ Metallургия, 1995, 9В87.

Использование математических моделей теплообмена в бортах, колосниках и подколосниковых балках обжиговых тележек совместно с моделью окислительного обжига окатышей позволяет: исследовать непосредственное влияние режимных параметров процесса отжига на тепловое состояние оборудования; регламентировать технологические режимы обжига окатышей по параметру максимальной т-ры в тележке; обосновать выбор материалов и рациональных параметров конструкций; создать банк данных по тепловому состоянию тележек в каждом конкретном случае для АСУ ТП процесса обжига; использовать модельные расчеты в рабочем и техническом проектировании обжиговых машин.

77. Новая математическая модель тепломассообмена в слоевом процессе обжига окатышей на конвейерной машине / В.М. Малкин, Б.А. Боковиков, Г.М. Майзель, А.Х. Боковицова // Научные школы УПИ - УГТУ: Мате-

риалы Международной конференции, Екатеринбург, 1998. Вып. 2. С творческим наследием Б.И. Китаева - в XXI век. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1998. - С. 132-135. - РЖ Metallurgia, 02.01-15В.87.

Разработана, реализована и адаптирована применительно к условиям конкретных ГОКов математическая модель процесса окислительного обжига окатышей на конвейерной машине. В настоящей модели рассмотрена не только слоевая задача, но и машина в целом с учетом связи различных ее зон через утилизацию тепла из зон охлаждения с выходом на распределение расхода топлива по длине машины.

78. Пазюк М.Ю. Математическая модель процесса окомкования шихтовых материалов в барабанном грануляторе / М.Ю. Пазюк, Ю.Г. Качан, О.В. Ренгевич // Теория и практика металлургии. - 1997. - № 3. - С. 40-41. - РЖ Metallurgia, 1998, 6В79.

Приведена математическая модель процесса окомкования в виде уравнений зависимостей, связывающих критерий качества управления с возмущениями и управляющими параметрами.

79. Прошунин Ю.Е. О математической модели сыпучего материала из аппарата / Ю.Е. Прошунин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 8. - С. 10-16.

80. Титов В.С. Математическая модель и метод автоматизированного управления окомкованием тонкоизмельченных материалов / В.С. Титов, И.Е. Чернецкая, Е.А. Исаев // Сборник материалов 4-ой Международной конференции "Распознавание - 99", Курск, 20-22 окт., 1999: Посвящ. 35 -летию Курск. гос. техн. ун-та. - Курск: Изд-во Курск. гос. техн. унта, 1999. - С.207-209. - РЖ Metallurgia, 02.01-15В.84.

Как показывает практика окомкования, количество увлажняющей жидкости в материале, поступающем на переработку, имеет первостепенное значение на течение процесса окомкования. Снижение влажности до оптимального уровня осуществляется добавлением бентонита. С помощью разработки автоматизированной системы управления окомкованием, включающей определение минимального расхода бентонита путем создания математической модели процесса формирования окатышей кондиционного размера наибольшей прочности.

81. Универсальная математическая модель тепломассообмена в слое при обжиге окатышей на конвейерной машине / Б.А. Боковников, В.М. Малкин, Г.М. Майзель, В.В. Брагин // Сталь. - 2002. - № 4. - С.29-34.

82. Математическая модель массопереноса влаги в процессе спекания агломерационной шихты = Mathematical model and computer simulation of moisture transfer process during sintering / Zou Zhiyi, Huang Tianzheng, Yang Xiaosheng, Chen Ji // Trans. Nonferrous Metals Soc. China. - 1995. - 5, № 1. - С. 15-20. - Англ. - РЖ Metallurgia, 1995, 9В78.

Модель основана на использовании уравнений тепло- и массопереноса в зоне повышенной влажности спекаемого слоя. Приняты следующие допущения: газовый поток проходит через "поршень", газ имеет свойства идеального, система находится в адиабатических условиях, переменные состояния системы

являются функциями высоты слоя и времени, тепло- и массообмен воды осуществляется в две стадии - испарения и конденсации, порознь, удельная поверхность и эквивалентный диаметр частиц слоя - константы, т-ры внутри частицы и на ее поверхности одинаковы. ММ включает уравнения тепловых балансов газовой фазы и твердой шихты, уравнения материальных балансов газа и твердой шихты, уравнение баланса водяного пара в газовой фазе, а также баланс количества движения на основе уравнения Эргуна.

83. Математическая модель процесса измельчения в центробежно-шаровой мельнице / Guoning Tang // Zhongguo youse jinchu xuebao = Chin. J. Nonferrous. - 1998. - 8, № 2. - С.360-363. – Кит.; рез. англ. РЖ Metallургия, 00.01-15В.83.

Основываясь на результатах экспериментов, отмечены особенности процесса измельчения в центробежно-сырьевой мельнице (ЦШМ). Используя т.н. теорию "серого ящика", составлена математическая модель в матричной форме, описывающая процесс измельчения в ЦМШ с учетом всех входных параметров

84. Математическое моделирование зазора между стенкой камеры коксования и коксовым пирогом / Nushiro Kouichi, Matsui Takashi, Hanaoka Kouji, Igawa Katsutoshi // Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap. – 1995 . - 81, № 6. - С. 625-631. - Яп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1996, 1В60.

Японскими специалистами разработана модель прогноза величины зазора, основанная на балансовых зависимостях между напряжениями усадки и коксования. Согласно концепции модели зазор образуется тогда, когда усадочные напряжения начинают превышать давление коксования. Усадочные напряжения рассчитывают из условия вязко-пластичного поведения кокса при термической усадке. Давление коксования определяют с учетом образования и распределения газовой фазы в пластическом слое. Значение времени релаксации кокса определяли на dilatометре. Величину зазора измеряли с помощью лазерного преобразователя.

85. Разработка одномерной математической модели для оценки горения пылеугольного топлива с учетом распределения его частей по крупности / Sato Michitaka, Murai Ryota, Ariyama Tatsuro // Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap. – 1996. – 82, № 9. – С. 731-736. – Яп.; рез. англ. – РЖ Metallургия, 1997, 5В90.

86. Цифровое моделирование теплопередачи и тепловой работы регенератора с шаровой насадкой, используемого в металлургической печи / Cai Jiuju, Cai Jiuju, Yu Iuan, Zhao Hai // Jinsu xuebao = Acta met. sin. - 2000. - 36, № 4. - С. 417-421. Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 00.11-15Б.63.

Разработана математическая модель и с помощью цифрового моделирования изучена тепловая работа регенератора с шаровой насадкой. Выявлены особенности конструкции и установлены условия, необходимые для снижения т-ры уходящих газов ниже 200 С°. Получены зависимости т-ры нагрева воздуха и к.п.д. регенератора от диаметра шаров и высоты слоя.

ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА

87. Бигеев А.М. Математическое моделирование непрерывного сталеплавильного процесса при ступенчато-противоточном режиме взаимодействия металла и шлака / А.М. Бигеев, И.В. Васильева, В.В. Шадрин; Магнитог. гос. горно-металлург. акад. – Магнитогорск, 1996. – 23 с. – Деп. в ВИНТИ 28.03.96, № 991-В96. – РЖ Metallургия, 1996, 9В160Деп.

Сделана попытка разработки прогнозной статистической математической модели непрерывного сталеплавильного процесса (НСП) с трехступенчатым противотоком металла и шлака, основанной на использовании системы конечных уравнений материальных и тепловых балансов, с целью определения основных технологических параметров, проведенной по принятой технологической схеме. Схема предусматривает передел высокофосфористого чугуна в качественную сталь в реакторах конвертерного типа.

88. Буровой И.А. Комплексная математическая модель процесса Ромелт / И.А. Буровой, А.Б. Усачев // Сталь. - 2000. - № 2. - С. 71-76. - РЖ Metallургия, 00.11-15В.128.

Разработана структура и проведена идентификация математической модели процесса жидкофазного восстановления железосодержащих материалов Ромелт по данным эксплуатации опытной установки на НЛМК. Эта модель пригодна для проведения комплекса исследований, необходимых для выявления технологических особенностей процесса Ромелт.

89. Дмитриев А.Н. Разработка и исследование пирометаллургических процессов переработки комплексного железорудного сырья с использованием математического и экспериментального моделирования / А.Н. Дмитриев // Междунар. науч.-техн. конф. "Урал. металлургия на рубеже тысячелетий", Челябинск, 1999: Тез. докл. - Челябинск, 1999. - С. 21. - РЖ Metallургия, 00.07-15В.62.

Разработанные математические модели дают возможность применять для изучения процессов и явлений новые инструменты - аналитические методы исследования, позволяющие определять двумерные распределения в объеме агрегатов скоростей, т-р, степеней восстановления и других параметров. В предложенных математических моделях в качестве исходной информации используются такие важнейшие показатели качества железорудного сырья и топлива как прочность, восстановимость, т-ры размягчения и плавления и т.д.

90. Зайцев А.К. Термодинамическое моделирование поведения кремния и марганца в процессе Ромелт / А.К. Зайцев, Н.В. Криволапов, В.С. Валавин // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2002. - № 11. – С. 3-7.

91. Калашников С.Н. Математическая модель и методика решения задачи нестационарного тепломассообмена совокупности частиц пылевидных железосодержащих материалов / С.Н. Калашников, Л.А. Ермакова, С.П. Мочалов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - № 6. - С. 67-71 - РЖ Metallургия, 01.12-15Б.11.

Предложена математическая модель тепломассообмена частиц с учетом

фазового перехода в виде совместной системы уравнений теплопроводности и молекулярной диффузии с граничными условиями 3 рода. Разработана методика моделирования тепломассообменных процессов совокупности частиц железорудных материалов заданного закона распределения. Предложенная методика позволяет рассчитывать процесс тепломассообмена совокупности дисперсных железосодержащих частиц, заданного закона распределения и может использоваться при расчете процессов в основных реакторах струйно-эмульсионного агрегата.

92. Карнаухова Н.В. Математическая модель процесса восстановления оксидов железа в кипящем слое / Н.В. Карнаухова, Е.И. Ливерц, В.П. Цымбал // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 4. - С.40-44.

93. Лепило Н.Н. Моделирование изменений прямого восстановления железа в доменной плавке / Н.Н. Лепило, А.Б. Шур // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 3. - С.13-17.

94. Методика и результаты численно-аналитического моделирования массообменных процессов при восстановлении пылевидных железосодержащих материалов / С.Н. Калашников, С.П. Мочалов, Л.А. Ермакова, С.Ю. Красноперов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 10. - С. 61-65.

95. Моделирование восстановительных процессов и оценка энергетических возможностей технологий прямого получения металлов в струйно-эмульсионных агрегатах / С.П. Мочалов, Л.А. Ермакова, К.М. Шакиров, В.П. Цымбал // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 4. - С.44-51.

96. Моделирование и оптимизация теплообменных процессов в трехмерном приближении на основе разработки EXCEL-приложений / С.Н. Калашников, С.Ю. Красноперов, С.П. Мочалов и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 8. - С.65-69.

97. Мустафин Р.М. Математическая модель кислородного реактора / Р.М. Мустафин, А.В. Павлов, В.А. Григорьев // Материалы международной научно-практической конференции "Автоматизированный печной агрегат - основа энергосберегающих технологий XXI века", Москва, 15-17 нояб., 2000. - М.: Изд-во МИСиС, 2000. - С. 229-230. - РЖ Металлургия, 01.07-15В.39.

В основе процесса производства ферросплавов и чугуна в кислородном реакторе лежит карботермическое восстановление Me из оксидов при полном использовании теплотворной способности углерода внутри специального агрегата за счет дожигания оксида углерода газообразным кислородом. Разработана двухмерная математическая модель кислородного реактора, позволяющая рассчитывать материальные и тепловые балансы плавки.

98. Сафронов Н.И. Критериальная модель противоточной металлизации при прямом синтезировании черных литейных сплавов / Кам. политехн. инт. – Набережные Челны, 1997. – 15 с. – Библиогр.: 6 назв. - Деп. в ВИНТИ 07.05.97, № 1537-В97. - РЖ Металлургия, 1997, 12А82ДЕП.

Модель предназначена для проектных расчетов реального технологического процесса и оборудования, а также управления действующего плавильного агрегата. Алгоритм модели основан на составлении уравнений и определении

количества связанного с железом кислорода, а также степени окисления восстановительного газа при наличии в противоточном реакторе нескольких элементов.

99. Цымбал В.П. Моделирование процессов и разработка технологии получения металла из отходов на основе непрерывного струйно-эмульсионного процесса / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, Л.А. Ермакова // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 2. - С.60.

100. Цымбал В.П. От первых математических моделей до нового непрерывного металлургического процесса / В.П. Цымбал // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 8. - С. 12-15.

В статье предпринята попытка содержательного наукометрического анализа сорокалетней ретроспективы развития научных направлений, зародившихся в недрах кафедры автоматизации производственных процессов.

101. Математическая модель для исследования влияния сегрегации на скорость газового восстановления гематитового порошка во взвешенном слое / Araki Ichiro, Murayama Takeaki, Ono Yoichi / Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap. - 1996. - 82, № 10. - С. 823-828. - Яп.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1997, 5В.88.

102. Математическая модель дожигания в плавильных восстановительных печах = Mathematical model for post combustion in smelting reduction / Becker-Lemgau Ullrich, Tacke Karl-Hermann // Steel Res. - 1996. - 67, № 4. - С.127-137. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 1997, 1В92.

С использованием трехмерных математических моделей проанализировано дожигание СО и Н₂ над ванной плавильной печи для восстановления железной руды, численно решены задачи уравнения постоянства массы и момента движения с учетом уравнений турбулентности и теплообмена.

103. Моделирование плавления частиц губчатого железа в расплаве железа = Modelling on melting of sponge iron particles in iron-bath / Zhang Liuyi // Steel Res. - 1996. - 67, № 11. - С. 466-474. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 1997, 8В66.

Осуществлено математическое моделирование плавления частиц губчатого железа в расплаве чистого железа на основе упрощенной модели, полученной из условий малой теплопроводности губчатого железа.

104. Моделирование расхода губчатого железа в сталеплавильном производстве = Modelling for a value in steelmaking / R.M. Smailer, R.L.W. Holmes, L.E. Cates // Steel Times Int. - 1999. - 23, № 6. - С. 26-28. - Англ. - РЖ Металлургия, 00.06-15В.138.

В 1999 г. в сталеплавильном производстве в мире использовано около 40 млн. губчатого железа. Разработана математическая модель, позволяющая определить потребность сталеплавильного производства в губчатом железе.

105. Построение математической модели восстановления железной руды в композитах руда / уголь = Building of a mathematical model for the reduction of iron ore in ore / coal composites / S. Sun, W.-K. Lu // ISIJ International. - 1999. - 39,

№ 2. - С. 130-138. - Англ. - РЖ Metallургия, 1999, 12A62.

Разработана неизотермическая и неизобарическая математическая модель, состоящая из 19 независимых уравнений, для изучения кинетики восстановления железной руды в композите руда/уголь. Общее соответствие между расчетными и измененными т-рами, степенями восстановления и степенями газификации углерода как функции времени и места показывает, что математическая модель способна показать результаты, полученные в этой системе.

106. Применение методики конечных элементов для математического моделирования искажений формы при жидкофазном спекании // *Met. and Mater. Trans.A.* - 1998. - 29, № 2. - С. 659-664. – Англ. - РЖ Metallургия, 1999, 12B.76.

Результаты, полученные при использовании новой методики моделирования показывают, что в порошковых металлургических системах вязкость расплавов достаточно высока, поэтому при рассмотрении характеристик формы зоны плавления необходимо учитывать влияние т-ры, порозности твердых фаз, крупности частиц и скоростей их сдвига.

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

107. Анализ и совершенствование доменного процесса с использованием математических моделей / С.Д. Абрамов, Л.Н. Дмитриев, Ю.А. Леконцев, С.В. Шаврин // *Черные металлы.* – 1998. - № 6-7. – С. 32-37.

108. Байбуз А.Г. Применение математических методов оптимизации для расчета соотношения компонентов доменной шихты / А.Г. Байбуз, А.В. Бородулин // *Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: Материалы Международной конференции к 300-летию металлургии Урала, Екатеринбург, 2000.* - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2000. - С.213-216 - РЖ Metallургия, 02.03-15B.85.

Предложена методика расчета соотношения компонентов доменной шихты

109. Бочка В.В. Разработка и расчетная проверка математических моделей загрузки шихты в доменную печь различными типами загрузочных устройств / В.В. Бочка, А.К. Тараканов, А.И. Таранец // *3 Междунар. конгр. доменщиков "Соврем. опыт и перспективы домен. пр-ва"*, Новокузнецк, 19-23 июня, 1995. - Новокузнецк, 1995. - С. 145-146. - РЖ Metallургия, 1995, 10B84.

Разработаны математические модели загрузки в доменную печь при использовании 2-конусного аппарата, конусного аппарата, а также безконусного загрузочного устройства типа "воронка-конус". Радиальное и окружное распределение шихты на колошнике определяется в виде значений рудных нагрузок по радиусу в кольцевых зонах колошника и в виде значений рудных нагрузок по окружности выделенных секторов колошника.

110. Бочка В.В. Теоретическая оценка влияния различных факторов на параметры движения шихты в безконусном аппарате лоткового типа / В.В. Бочка // *Теория и практика металлургии.* - 1997. - № 3. - С. 42-44. - РЖ Metallургия, 1998, 6B104.

С помощью математического моделирования изучены особенности движения материалов по лотку БЗУ и после него до встречи с поверхностью засыпки шихты на колошнике доменной печи при изменении угла наклона лотка, скорости его вращения, вида материалов и места их падения на лоток. Установлен механизм образования неравномерности распределения материалов по радиусу и окружности колошника при отклонении от оси печи падающего на лоток потока этих материалов.

111. Гулыга Д.В. Модель расчета шихты, кокса и параметров доменной плавки / Д.В. Гулыга // Сталь. - 2002. - №9. - С.11-14.

112. Диагностика футеровки доменной печи с использованием математической модели ее нестационарного теплообмена / В.С. Швыдский, Ю.В. Федурлов, Н.А. Спирин, В.В. Лавров // Изв. вузов. Чер. металлургия. - № 8. - С.40-43. -РЖ Металлургия, 1998,7В51.

Разработана модель нестационарного теплообмена в огнеупорной футеровке доменной печи, позволяющая по измерениям t -р в нескольких точках по толщине футеровки прогнозировать изменения во времени тепловых нагрузок на кладку печи, степень ее износа, а также t -ры наружной охлаждаемой и внутренней поверхности футеровки.

113. Дмитриев А.Н. Двумерная математическая модель доменного процесса / А.Н. Дмитриев, С.В. Шаврин // Сталь. - 1996. - № 12. - С. 7-13.

114. Дмитриев А.Н. Исследование температурных и скоростных полей с помощью двумерной математической модели при использовании новых технических решений / А.Н. Дмитриев, С.В. Шаврин // Сталь. - 1998. - № 5. - С. 5-8. - РЖ Металлургия, 1999, 5В84.

С помощью двумерной математической модели проанализировано изменение процессов газодинамики и теплообмена в объеме печи при использовании новых технических решений. Использование пылеугольного топлива вместо кокса, кроме проблем вдувания и сжигания, вызывает затруднения, связанные с изменением структуры и повышением газодинамического сопротивления слоя шихты, увеличивает перепад между t -рами шихты и газа в шахте, t -ру колошника. Изменение профиля может рассматриваться как инструмент воздействия на t -ру газа у футеровки, а также как фактор, влияющий на пространственное положение зоны когезии, определяющей газодинамику нижней части печи.

115. Дмитриев А.Н. Характер температурных и скоростных полей при вдувании газа-теплоносителя в шахту доменной печи / А.Н. Дмитриев, С.В. Шаврин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1996. - № 11. - С. 87-88.

116. Доброскок В.А. Математическая модель газодинамики доменной печи / В.А. Доброскок, И.А. Титов, Д. А. Кузьмин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1996. - № 5. - С.75-76. - РЖ Металлургия, 1997, 2В123.

Рассматривается задача математического моделирования газодинамики доменной печи. Предлагается использование нелинейных уравнений газодинамики. Предложена методика эффективного и точного решения уравнений, описывающих газодинамику доменной печи. Представлены результаты моделирования для доменной печи № 2 АК "Тулачермет". Приведено сравнение резуль-

татов моделирования с экспериментальными данными.

117. Доброскок В.А. Математическое моделирование ограничений вдувания пылеугольного топлива в доменную печь / В.А. Доброскок, А.Г. Чижиков, В.В. Савичев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 7. - С.75-76. - РЖ Металлургия, 00.05-15В.107.

Рассматривается задача математического моделирования поведения частиц пылеугольного топлива (ПУТ) при его вдувании в фурмы доменной печи. Предлагается использование математической модели по поведению частиц ПУТ на основе применения теории перколяции и метода крупных частиц. Представлены результаты компьютерного и физического моделирования поведения частиц ПУТ при его вдувании в доменную печь.

118. Доброскок В.А. Математическое моделирование процессов газораспределения в доменных печах / В.А. Доброскок, И.А. Титов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 5. - С. 13-15. - РЖ Металлургия, 1998, 3В128.

Рассматривается задача математического моделирования газораспределения в доменной печи. Предлагается использование уравнений газодинамики в нелинейном приближении. Подробно описана методика численного решения уравнений. Представлены результаты моделирования для доменной печи № 5 АО "Северсталь".

119. Доброскок В.А. Моделирование распределения шихтовых материалов в доменных печах методом крупных частиц / В.А. Доброскок, Р.Э. Загитов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1996. - № 11. - С.88-89.

120. Зельцер С.Р. Применение математических моделей доменного процесса в программно-технических комплексах контроля, анализа и отображения информации // Металлург. – 1997. - № 12. – С. 38.

121. Едалин Н.В. Параметры дутья и температурное поле в доменной печи / Н.В. Едалин, Д.З. Кудинов, В.С. Шаврин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 7. - С.75. - РЖ Металлургия, 00.05 - 15В.112.

При помощи балансовой логико-статической и двумерной газодинамической математических моделей доменного процесса оценено влияние отношения водяных чисел шихты и газа на конфигурацию температурного поля при выплавке чугуна с 6% никеля из бедных силикатно-никелевых руд в доменной печи объемом 205 м³. Отмечено, что используемый метод позволяет определить оптимальные параметры дутья в конкретных условиях работы доменной печи.

122. Карпунин Г.В. Моделирование поля температур футеровки и кожуха доменной печи / Г.В. Карпунин, Ю.П. Байшев, В.В. Стружанов // Матмоделир. систем и процессов: Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф., Пермь, 1995. – Пермь, 1995. – С. 17-18. – РЖ Металлургия, 1996, 10В100.

123. Карпунин Г.В. Моделирование стационарного поля температур футеровки и кожуха доменной печи / Г.В. Карпунин, Ю.П. Байшев, В.В. Стружанов / Ин-т машиновед. УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 19 с. – Библиогр.: 6 назв. – Деп. в ВИНТИ 03.04.96, № 1084-В96. – РЖ Металлургия, 1996, 10В113Деп.

124. Ковшов В.Н. Моделирование доменного процесса: Учебное посо-

бие / В.Н. Ковшов, В.А. Петренко, В.И. Веревкин. - Днепропетровск: Ин-т технологии, 1997. - 108 с. - РЖ Metallургия, 1999, 7В132К.

125. Кудинов Д.З. Неравномерность газового потока и температурное поле в доменной печи / Д.З. Кудинов, Н.А. Субботина, В.С. Шаврин. // Изв. вузов. Цветная металлургия – 1999. - № 7. – С. 74. - РЖ Metallургия, 00. 05-15В.11.

Совместное использование балансовой логикостатической и двумерной газодинамической математических моделей доменного процесса позволило оценить деформацию температурного поля в доменной печи под влиянием неравномерности распределения газового потока по сечению.

126. Макарова И.В. Математическое описание поверхности ликвидуса доменных шлаков / И.В. Макарова, В.Н. Макаров, Д.В. Макаров // Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов: Тезисы докладов 9 Всерос. конф., Екатеринбург, 15-18 сент., 1998. Т.1. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. - С.101. - РЖ Metallургия, 02.09-15А.21.

Предложен алгоритм, позволяющий рассчитывать температуры ликвидуса, который реализован в виде программы для персонального компьютера. При математическом описании системы использовался метод последовательного приближения, а расчет велся от простого к сложному.

127. Математическая модель для определения местоположения и конфигурации зоны когезии в доменной печи / Кумар Рагу, Р.К. Верма, С.К. Оджа, А.К. Сантра // 8 Рос.- Инд. науч.- техн. симп. "Ресурсосбережение и охрана окружающей среды в черн. металлургии", Москва, 1995: Матер. симп. - М., 1995. - С. 39. - РЖ Metallургия, 1996, 2В150.

Исходные данные модели: профиль печи, параметры дутья и шихты, данные об анализе колошникового газа и параметры чугуна и шлака. Модель учитывает все основные тепловые и восстановительные процессы, происходящие в доменной печи.

128. Математическое моделирование теплового состояния отсеченного доменного воздухонагревателя / В.Д. Коршиков, И.Г. Бянкин, П.И. Кирьянов, С.Л. Соломенцев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1994. - № 7. - С.61-63. - РЖ Metallургия, 1995, 5В217.

129. Математическое моделирование течения газа в каналах насадок оменных воздухонагревателей / С.Н. Редников, Е.В. Торопов, В.Ю. Шашкин, И.В. Елюхина // Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: Материалы Международной конференции к 300-летию металлургии Урала, Екатеринбург, 2000. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2000. - С.242-244. - РЖ Metallургия, 02.03-15В.89.

Анализируя данные, полученные при математическом моделировании течения в осесимметричных каналах, составленных из конфузочно-диффузорных секций, можно отметить, что при течении в сужающихся по потоку секциях с углом наклона менее 2° и изменении проходного сечения не более 5%, при угле раскрытия диффузора более 50° , в диапазоне чисел $Re=8000\dots 13000$ разница между усредненными параметрами, характеризующими интенсивность теп-

лообмена и сопротивления в канале невелика.

130. Методика определения зон малоподвижных материалов в горне и шахте доменной печи / И.Г. Фирсов, В.Б.Щербатский, В.А. Култышева, А.Ю. Чернавин // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1997. - № 1. – С. 14-16. – РЖ Металлургия, 1997, 8В48.

131. Методы математического моделирования диагностики доменного процесса: Докл. на 4 Междунар. конгр. доменщиков, Магнитогорск, 9-12 сент., 1997 / Н.А. Спирин, В.С. Швыдский, Ю.В. Федулов и др. // Металлург. - 1997. - № 12. - С. 37-38. - РЖ Металургия, 1998, 10 В160.

Для диагностики состояния фурменного очага печи с использованием компьютерной техники разработаны математического модели развития азодинамических, тепловых и массообменных процессов в их взаимосвязи для конкретных режимных и конструктивных параметров работы печи.

132. Моделирование доменного процесса при его совершенствовании / Р.Р. Сыртланов, Ю.А. Леконцев, Ю.А. Чесноков, С.В. Шаврин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - №9. - С.64. - РЖ Металлургия, 02.04-15В.106.

Приведены результаты компьютерных исследований процессов восстановления и теплообмена двух периодов работы доменной печи при изменении во втором рудной части шихты за счет введения лебединских окатышей.

133. Моделирование перемешивания чугуна нейтральным газом в миксере вытянутой формы / Ю.М. Кузнецов, Л.К. Шляпников, В.А. Злодеев, А.Ф. Сарычев // Сталь. - 1998. - № 2. С.13-16. - РЖ Металлургия, 1998, 12В143.

134. Моделирование процессов газодинамики и теплообмена в шахте доменной печи / А.Ф. Авцинов, А.В. Бородулин, С.Ф. Бугаев и др. // Сталь. – 1996. - № 8. – С. 4-9.

135. Оптимизация состава и режима загрузки шихтовых материалов с целью повышения эффективности доменной плавки / Н.А. Большаков, Ф.М. Гладков, Ф.М. Шутылев, Д.Н. Тогобицкая // Сталь. - 2001. - № 4. - С.6-10.

136. Разработка и внедрение математического и программного обеспечения для гибких технологических режимов работы доменных печей / С.А. Загайнов, О.П. Онорин, Л.Ю. Гилева, Д.Н. Волков // Сталь. - 2000. - № 9. - С.12-15.

137. Современные компьютерные методы диагностики состояния фурменного очага доменной печи / Ю.Г. Ярошенко, В.С. Швыдский, Н.А. Спирин и др. // Сталь. - 1996. - № 6. - С. 6-9. - РЖ Металлургия, 1997, 3В102.

Для диагностики фурменного очага печи предложены математические модели, позволяющие оценивать развитие газодинамических, тепловых и массообменных процессов в их взаимосвязи между собой и условиями доменной плавки - по расходу и другим параметрам дутья, характеристике углеводородных добавок и др.

138. Суханов Е.Л. Модель теплового режима доменной плавки / Е.Л. Суханов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 8. - С.48-50. - РЖ Металлургия, 1998, В45.

Разработана относительно простая математическая модель, позволяющая анализировать переходные процессы в горне доменной печи при управлении ее

тепловым режимом. Доказана возможность стабилизации теплового режима плавки путем реализации, подбираемой с помощью модели, определенной программы изменения во времени комплекса дискретных управляющих воздействий.

139. Тараканов А. Использование математических моделей и диалоговых систем в управлении доменным процессом / А. Тараканов // Черная металлургия. – 2001. - № 11. – С. 30-33. - РЖ Металлургия, 03.05-15В.156.

140. Тихонова И.В. Математическая модель для расчета металлического рекуператора в нестационарном режиме работы / И.В. Тихонова, С.Л. Соломенцев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 7. - С.15- 19 . - РЖ Металлургия, 00.01 - 15В.75.

Разработан доменный воздухонагреватель (ДВ) с центральной камерой горения и рекуператором (для нагрева воздуха горения), размещенным в поднадсадочном пространстве ДВ и работающим одновременно с ним в периоды нагрева его насадки. Внедрение предложенного ДВ обеспечит высокотемпературный нагрев дутья при использовании только доменного газа. Рекуператор работает также в нестационарном режиме. Приведены два варианта численно-аналитического метода расчета такого рекуператора. В основе метода лежит допущение о том, что нагрев (охлаждение) стенок труб металлического рекуператора можно рассматривать как нагрев термически тонкого тела. По предложенному методу выполнены расчеты рекуператора для различных условий его работы применительно к ДВ печи объемом 2000 м³. Результаты расчета подтвердили ожидаемые надежность и практически равнозначность обоих вариантов метода.

141. Товаровский И.Г. Развитие расчетных методов анализа доменной плавки / И.Г. Товаровский // Сталь. - 2001. - № 7. - С.8-10.

142. Тогобицкая Д.Н. Информационное, алгоритмическое и программное обеспечение для решения задач оптимизации доменной шихты / Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, А.И. Белькова // Металлург. - 1999. - № 6. - С.42-44. - РЖ Металлургия, 00.01-15В.101.

Разработанная программа является инструментом, позволяющим технологам выполнять прогнозные расчеты при перешихтовках и предполагаемых изменениях технологических параметров доменной плавки.

143. Тогобицкая Д.Н. Моделирование процессов межфазного распределения элементов в системе металл-шлак при выплавке чугуна / Д.Н. Тогобицкая // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1999. - № 1. - С.8-11. - РЖ Металлургия, 1999,1 2А49.

На основе информационно-математического моделирования описаны подходы к прогнозированию коэффициентов распределения элементов в системе металл-шлак в восстановительных условиях доменной плавки. Представлены результаты моделирования коэффициентов распределения серы, кремния и марганца.

144. Чесноков Ю.А. Контролируемые параметры распределения материалов на колошнике как элемент моделирования доменного процесса / Ю.А.

Чесноков, А.В. Чесноков, С.В. Шаврин // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2002. - № 7. – С. 77.

145. Чеченев В.А. Математическое моделирование динамики образования гарнисажного слоя на крупногабаритных охлаждаемых модулях доменных печей / В.А. Чеченев, А.А. Рядно // Теория и практика металлургии. - 1998. - № 4. - С.23-25. - РЖ Металлургия, 1999, 11В114.

Построена математическая модель, описывающая процессы теплообмена при образовании слоя гарнисажа на охлаждаемых поверхностях шахт доменных печей, позволившая оценить работоспособность новых конструкций систем охлаждения с помощью предварительно изготовленных крупногабаритных модулей из огнеупорного бетона, армированного стальными трубами.

146. Щипанов К.А. Использование математического пакета Matlab для системы принятия решений при оптимизации доменного производства / К.А. Щипанов, Д.С. Федоров, М.Н. Спирин // Теплотехника и теплоэнергетика в металлургии: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Магнитогорск, 2000. - Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2000. - С.33-34. - РЖ Металлургия, 02.08-15В.57.

Рассмотрены возможности математического пакета, позволяющего наиболее эффективно решать задачи оптимального управления сложными техническими и технологическими системами. Отличительной особенностью этого продукта является то, что пользователь имеет возможность интерактивно решать задачи, не прибегая к использованию языков программирования.

147. Динамическая математическая модель доменного процесса при высоком расходе пылеугольного топлива, основанная на многопоточной концепции = Transient mathematical model of blast furnace based on multi-fluid concept, with application to high operation / De Castro Jose Adilson, Nogami Hiroshi, Yagi Jun-ichiro // ISIJ International. - 2000. - 40, № 7. - С. 637-646. - Англ. - РЖ Металлургия, 01.05-15В.109.

Математическая модель основана на концепции взаимодействия в печи пяти фаз: газа, кусковых материалов; жидких продуктов плавки и мелкие фракции твердых материалов. Модель включает балансовые уравнения массы, моментов инерции, химических элементов и веществ и тепловой энергии для этих фаз, а также учитывает фазовые превращения и химические реакции.

148. Интегрированная математическая модель горения пылеугольного топлива в доменной печи = Integrated mathematical model of pulverised coal combustion in a blast furnace / Takeda Kanji, F.C. Lockwood // ISIJ International. - 1997. - 37, № 5. - С.8. – Англ. - РЖ Металлургия, 1998, 5В157.

Разработана двумерная модель, которая включает турбулентную составляющую и стохастический расчет траектории движения частиц ПУТ в плотном слое. Модель учитывает также удаление летучих и горение угольного остатка, а также вихревые потоки при горении летучих, при этом использованы уравнения Эгона, переноса кислорода, углерода, водорода и компонентов летучих веществ.

149. Использование математической модели для оптимизации доменной плавки и достижения наименьшего расхода кокса / Yang Tianjun, Gao Bin, Lu Husheng и др. // Beijing keji daxue xuebao = J. Univ. Sci. and Techn. Beijing. - 2001. - 23, № 4. - С.305-307. - Кит.; рез. англ. – РЖ Metallургия, 02.08-15В.59.

Использована математическая модель с искусственным интеллектом в режиме "он-лайн". Сравнение результатов моделирования и реальных производственных показателей указывает на целесообразность снижения доли агломерата в железорудной шихте при увеличении расхода окатышей. При этом температуру дутья и содержание кислорода необходимо поддерживать на максимально возможном уровне.

150. Исследование горна доменной печи / Inada Takanobu, Yamamoto Takai, Sunahara Kohe, Yamaoka Hideyuki // Sumitomo kinzoku = Sumitomo Metals. - 1998. - 50, № 2. - С.42-50. - Яп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1999, 1В78.

С помощью четырех математических моделей исследовали факторы, влияющие на увеличение кампании печи. Показано, что работа при сниженной тепловой нагрузке на кладку при совместно спроектированных кладке и системе охлаждения позволит довести срок кампании печи до 16 лет и выше.

151. Исследование с помощью математической модели влияния свойства газа, жидких фаз и плотного слоя на движение чугуна и шлака в доменной печи = Modelling of liquid flow the blast furnace: Theoretical analysis of the effects of gas, liquid and packing properties / Chew Sheng Jason, Zulli Paul, Yu Aibing // ISIJ International. - 2001. - 41, № 10. - С. 1112-1121. - Англ. - РЖ Metallургия, 02.08-15В.60.

Математическая модель включает уравнения, характеризующие на основе баланса сил статическую и динамическую составляющие задержек в движении жидких продуктов плавки в горн при наличии газового потока, а также параметры взаимодействия жидких, твердых и газообразных фаз в противотоке и при его отсутствии

152. Компьютерное исследование загрузки скрапа в доменную печь = Computational investigation of scrap charging to the blast furnace / Austin Peter Richard, Nogami Hiroshi, Yagi Jun-ichiro // ISIJ International. - 1998. - 38, № 7. - С. 697-703. – Англ. - РЖ Metallургия, 1999, 5В97.

С помощью математической модели исследовали загрузку скрапа в центр, на периферию и равномерным слоем по сечению печи при двух режимах: при постоянной t -ре и при фиксированной t -ре газа на колошнике. Оптимальной является загрузка скрапа ближе к периферии печи.

153. Компьютерный анализ совместного вдувания в доменную печь пылеугольного топлива, частично восстановленной руды и флюса при обогащении дутья кислородом = Numerical analysis of multiple injection of pulverized coal, prereduced iron ore and flux with oxygen enrichment to the blast furnace / Castro Jose Adilson de, Nogami Hiroshi, Yagi Jun-ichiro // ISIJ International. - 2001, 41. - № 1. - С.72. - Англ. - РЖ Metallургия, 01. 09-15В.108.

Используется многофазная математическая модель доменной печи, в которой ПУТ, руда с флюсом рассматриваются как самостоятельные фазы, поскольку

ку эти материалы имеют различные теплофизические свойства. Сама модель двухмерная и осесимметричная. Балансовые уравнения массообмена, теплообмена, движения материалов и химических соединений и элементов решаются одновременно на основе метода конечных объемов.

154. Математическая модель десульфурации чугуна инъекцией порошка = Mathematical model of hot metal desulphurization by powder injection / Zou Zongshu, Zou Yousheng, Zhang Libing, Wang Nan // ISIJ International. - 2001. - 42, прил. March. - С. 566-569. – Англ. - РЖ Металлургия, 01.10-15А.73.

Кинетический анализ десульфурации чугуна приводит к трем основным параметрам, которые определяют скорость процесса: проникновения порошка в расплав, распределение времени пребывания порошка в ванне и время гомогенного перемешивания ванны. Дополнительно к порошкам CaO и CaC₂ вводили гранулированный магний.

155. Математическая модель для исследования реакции в доменной печи, основанная на анализе потоков четырех фаз = A mathematical model for blast furnace reaction analysis based on the four fluid model / Austin Peter Richard, Nogami Hiroshi, Yagi Jun-ichiro // ISIJ International. - 1997. - 37, № 38. - С.748-755. – Англ. - РЖ Металлургия, 1998, 4В176.

Разработана двумерная модель, описывающая распределение и развитие в доменной печи химических реакций, движения и теплообмена в четырех фазах: газообразной, твердой кусковой, порошкообразной и жидкой. Модель позволяет одновременно вычислять в установившемся режиме состав, скорость, т-ру и порозность всех четырех фаз. Модель включает также реакции переноса кремния, что делает положение зоны когезии более высоким. Дается прогноз образования монооксида кремния из золы кокса и шлакового расплава.

156. Математическая модель для оценки газораспределения в доменной печи в реальном времени = On-line model of gas distribution in the blast furnace / Nikus Mats, Saxen Henrik // Steel Res. - 1996. - 67, № 4. - С.121-126. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 1997, 2В126.

Представлена модель для оперативной оценки радиального газораспределения. Приняты следующие условия: т-ра и концентрация газов по радиусу определяются с помощью диагонального зонда над поверхностью шихты; перемешиванием газа перед зондом пренебрегают; над шихтой реакции в газовой фазе не протекают; потери тепла с газом пропорциональны разности температур колошникового газа и окружающей среды; количество колошникового газа определяют по балансу азота; для расчета скоростей газа измеряют его давление на колошнике. Распределение газовых потоков по радиусу оценивают с помощью фильтра Кальмана.

157. Математическая модель доменного процесса для правления газовым потоком = Blast furnacemodel for gas flow control / G. Danloy, J. Mignon, L. Bonte // Rev. met. (Fr.) - 1999. - 96, № 6. - С. 715-720. - Англ.; рез. фр., нем., исп. - РЖ Металлургия, 00.05-15В.115.

Разработанная модель учитывает установившийся режим работы доменной печи, фиксированную слоистую структуру шихты. Входные переменные: гео-

метрия печи, характеристики дутья, расход ПУТ, давление на колошнике, состав и свойства сырья, параметры слоев руды и кокса, которые определяются на основании модели Sidmar. На данной стадии разработки модель позволяет получить: распределение шихты на колошнике, газораспределение в слоях, движение твердых фаз с учетом их исчезновения при газификации, поток жидких продуктов, характер теплообмена, размягчение и плавление руды в зоне когезии, ее форму и положение при двух изотермах твердых фаз (1200 С° и 1400 С°).

158. Математическая модель оптимизации доменного процесса с элементами искусственного интеллекта / Liu Xiang-quan, Liu Fang. // Gaoxiao yingyong shuxue хуебао. A = Appl. Math. J. Chin. Univ. – 2001. – 16, № 4. – С. 462-470. – Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 03.03-15В.159.

Модель разработана с использованием трехмерной концепции прогноза и управления и исследована с помощью поточного программирования.

159. Математическая модель переходного процесса эрозии кладки горна доменной печи = Mathematical model for transient erosion process of blast furnace hearth / Takatani Kouji, Jnada Takanobu, Takata Kouzo // ISIJ International. - 2001. - 41, № 10. - С.1139-1145. – Англ. - РЖ Metallургия, 02.08-15В.63.

Разработанная математическая модель анализирует систему, состоящую из слоев: огнеупорной футеровки горна, свободного кокса, плотного кокса. В такой системе балансы - материальный и количества движения для жидкого чугуна и энергии для чугуна и кладки горна - основываются на составлении уравнений Новье-Стокса и Эгона.

160. Математическая модель прогноза износа лещади доменной печи по методу граничных элементов = Mathematical model for prediction of bottom of blast furnace by BEM / Yao Bin, Yang Tianjun, Yang Shangbao, Gao Bin // Beijing keji daxue хуебао = J. Univ. and Techn. Beijing. - 1999. - 21, № 3. - С. 231-233. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 00. 11-15В.131.

В разработанной модели в качестве реперного профиля износа кладки лещади принята изотерма с трой 1150 С°.

161. Математическая модель с элементами искусственного интеллекта для оценки динамики формирования слоев шихты в доменной печи = Neural network model of burden layer formation dynamics in the blast furnace / Hinnela Jan, Saxen Henrik // ISIJ International. - 2001. - 41, № 2. - С.142-150. - Англ.; рез. яп. - РЖ Metallургия, 01.11-15В.88.

На основании полученных нелинейных зависимостей между уровнем засыпи, положением подвижных плит и толщиной слоев шихты в модель введены элементы искусственного интеллекта, которые позволяют прогнозировать требуемые параметры о слоях на основе анализа предистории изменений входных величин.

162. Математическая оптимизационная модель работы доменной печи / Hao Xiao-jing, Du Gang. // Cailiao yu yejin хуебао = J. Mater. And Met. –2002 - 1, № 2. – С. 120-123. –Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 03.04-15В.32.

Разработана математическая модель для оптимизации рабочих параметров

доменной печи. Путем статистической обработки производственных данных нескольких заводов получены уравнения множественной линейной регрессии для определения расхода кокса, производительности, рудной нагрузки и т.д.

163. Математическое моделирование движения жидких продуктов плавки в главном желобе доменной печи = Modelling of flows in the blast furnace trough / Luomala Matti Juhani, Paananen Timo Tuomas, Koykka Mervi Johanna, Fabricius Timo Matti Juhani // Steel Res. - 2001, 72. - № 4. - С.130-135. - Англ.; рез. нем. - РЖ Metallургия, 02.05-15В.105.

Проведены исследования с помощью физической и математической модели. Выводы: в точке пересечения выпускаемой из емкости струи возникают обратные потоки, разрушающие кладку желоба, при этом чем меньше протяженность зон турбулентности, тем интенсивнее потоки у стен. Турбулентность может быть уменьшена при использовании продольных выступов в днище желоба.

164. Математическое моделирование движения жидких фаз в доменной печи. Использование результатов моделирования в общей модели доменной плавки. = Modelling of liquid flow in the blast furnace: Application in a comprehensive blast furnace model / Jason Chew Sheng, Paul Zulli, Aibing Yu // ISIJ Int. - 2001. - 41, № 10. - С. 1122-1130. - Англ. - РЖ Metallургия, 02.08-15В.61

165. Математическое моделирование доменного процесса для проектирования АСУ ТП = Modelizacion aplicada al diseno de sistemas de control en el horno alto / R. Rosal, C. Blanco, M. Diaz, J. Saiz // Rev. met. / CENIM. - 1995. - 31, № 3. - С.172-181. - Фр. - РЖ Metallургия, 1996, 7В192.

Разработана упрощенная математическая модель (ММ) для многозонной структуры столба материалов в доменной печи (кроме горна), включающей зоны: нагрева, восстановления гематита (200-700 С°), термически резервная (950 С°), когезии (1050-1500 С°) и горения (2000 С°). ММ содержит уравнения материального и энергетического балансов.

166. Математическое моделирование износа кладки горна доменной печи = Model of the state of the blast furnace hearth / Torrkulla Jan, Saxen Henrik // ISIJ International. - 2000. - 40, № 5. - С. 438-447. - Англ. - РЖ Metallургия, 01.03-15В.109.

Модель основана на уравнении распределения теплового потока в цилиндрических координатах с использованием замеров т-р в кладке лещади и стен горна и расчетной методики конечных элементов. С помощью модели построены линии износа и настлеобразования в кладке горна доменных печей. Особенностью модели является то, что в ней жидкие продукты рассматриваются как дискретная фаза.

167. Математическое моделирование комплексных систем на примере доменной печи = Simulator-based modeling for complex systems / Sasaki Tsuyoshi, Tsumura Kouji // Nihonikai gakkai ronbunshu. C = Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C. - 1999. - 65, № 634. - С. 97-104. - Яп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 00.06-15В.97.

Предложена методика моделирования процесса для использования при проектировании доменных печей и управления ходом доменной плавки. При-

ведена схем динамической модели печи и кинетической модели движения сыпучих материалов через отверстие.

168. Математическое моделирование потоков газа в жидкости в двухмерном плотном слое и анализ явлений в зоне капельного течения доменной печи / Matsu-ura Masahiro, Ohno Yotaro // *Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap.* - 1994. - 80, № 12. - С.884-889. - Яп.: рез. англ. - РЖ *Металлургия*, 1995,7В175.

В модели учтены зоны расположения участков формирования жидкой фазы, а также пристеночные и другие непроницаемые для жидкости объемы плотного слоя. Данную модель объединили с моделью движения и распределения газовой фазы с целью проведения анализа явлений, происходящих в зоне капельного течения доменной печи. Сделан вывод о том, что капельное течение жидкости в доменной печи осуществляется равномерно по сечению горна.

169. Математическое моделирование противотока газа и жидких фаз в зоне течения доменной печи с учетом наличия в ней газонепроницаемых слоев расплава = Simulation of gas-liquid flow in dripping zone of blast furnace involving impermeable fused layers / G.X. Wang, J.D. Litster, A.B. Yu // *ISIJ International.* - 2000. - 40 № 7. - С. 627-636. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 01.03-15В.115.

Модель содержит в своей основе уравнение типа уравнения Эгона для плотного слоя, уравнения неразрывности от продуктов плавки.

170. Математическое моделирование уровня жидких продуктов плавки в горне доменной печи = Modelling the liquid levels in the blast furnace hearth. / Brännbacka Johnny, Saxen Henrik // *ISIJ International.* - 2001. - 41, № 10. - С.1131-1138. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 02.08-15В.62.

Математическая модель основана на составлении баланса объемов чугуна и шлака при условии отсутствия зазора между коксовым тотерманом с порозностью 0,3 и лещадью. Модель как-бы "измеряет" уровень продуктов плавки в горне один раз за выпуск и корректирует этот уровень с учетом значений поправочного коэффициента, пропорционального моменту времени, когда уровень чугуна достигает отметки чугунной летки.

171. Моделирование доменной плавки в реальном масштабе времени = Real time blast furnace modelling / I. Košťial, P. Nemčovsky, L. Dorčák и др. // *Metallurgija (Zagreb).* - 2001. - 40, № 3. -С.147-150. - Англ.; рез. хорват. - РЖ *Металлургия*, 02.08-15В.64.

Разработанная математическая модель доменного процесса составляет основу АСУ ТП доменной печи. Модель включает статическую и динамическую части - соответствующие балансовые уравнения массо- и теплообмена. С помощью динамической части осуществляется прогноз параметров плавки в реальном времени на основе уравнений, описывающих тепловыделение, конвекцию газа, теплообмен, химические реакции, плавление.

172. Моделирование процессов горения пылеугольного топлива в доменной печи. = Combustion mechanism of pulverized coal injected into blast furnace and simulation / M. Sato, T. Ariyama, Y. Yamakawa // *Rev. met. (Fr.).* - 1995. - 92, № 3. - С. 343, 349, V, VII. - Англ; рез. фр., нем., исп. - РЖ *Металлургия*, 1996, 2В153.

173. Моделирование процессов разбухания плотного слоя угля при карбонизации / Aoki Hideyuki , Goto Kazuyuka , Ueki Makoto , Miura Takatoshi // *Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap.* - 1996. - 82, № 5. - С. 404-408. - Яп.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1997, 2В140.

Разработана новая математическая модель для оценки процессов расширения и усадки, а также давления коксующегося слоя угля на стенки при карбонизации. На основе уравнений скорости пиролиза угля определены объемные содержания газовой, жидкой и твердой фаз, произведена оценка процесса удаления летучих из смолы. С помощью новой модели можно моделировать уменьшение проницаемости в связи с выделением из смолы и появлением давления коксования в пластическом слое, которое растет при увеличении интенсивности нагрева. Предложенная модель может быть полезной для оценки разбухания или усадки в плотном слое угольной шихты при коксовании.

174. Моделирование распределения жидкого чугуна в горне доменной печи = Modeling of the distribution of the liquid iron level in the blast furnace hearth / I. Podlubny, I. Kostial, M. Kacanak, J. Tetpak // *Metalurgija (Zagreb)*. – 2001. - 72. - № 2. - С. 107-109. - Англ.; рез. хорват. - РЖ Металлургия, 02.05-15Б.8.

Предложена математическая модель для описания двух- и трехмерного движения вязкой жидкости и рассмотрено ее применение для анализа движения расплавленного чугуна в горне доменной печи.

175. Новая математическая модель для распределения шихты в доменной печи = Nuevo modelo matematico para la distribucion de carga en el horno alto:[Rep.] 8 Congr. nac. cienc. y tecnol. met, Madrid, 27-29 mayo, 1998 / J. Jimenez, B. Fernander, de Ayala J.Sainz, J. Mochon // *Rev. met. / CENIM* . - 1998. - 34, Num. extraord. - С.158-163. - Исп.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1999, 2В111.

Рассмотрена математическая модель полиномиального характера, разработанная для расчета распределения шихты в доменной печи с учетом особенностей системы загрузки, свойств шихты и влияние газового потока. Модель используется для расчета распределения шихты, которое уточняется после загрузки каждой порции шихты.

176. Основы распределения шихтовых материалов в доменной печи. Часть 9: Техника моделирования = Blast furnace burden distribution fundamentals / J.J. Poveromo // *Iron and Steelmaker*. – 1996. – 23, № 1. – С. 53. – Англ. – РЖ Металлургия, 1997, 4В63.

177. Оценка достоверности математической модели движения потока твердых материалов с использованием надежных экспериментальных данных с трехмерной физической моделью = Validation of a blast furnace solid flow model using reliable 3-D experimental results // Zaimi Sami Alex, Akiyama Tomohiro, Guillot Jean-Berrard, Yagi Jun-Ichiro // *IAIJ Int.* - 2000. - 40, № 4. - С. 332-341. - Англ. - РЖ Металлургия, 01.03-15В.117.

На основе теории сверхпластичности сыпучих материалов с использованием метода конечных элементов разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать поле напряжений и скоростей движения частиц в физической модели печи и прогнозировать профиль коксового тотермана и его ха-

рактеристики. В модели в качестве параметров использован небольшой набор констант, откалиброванных с помощью зависимостей из общей массы грунтов.

178. Повышение стойкости доменной печи. 2. Моделирование температурных полей в футеровке и холодильниках = Designing for long campaign life blast furnace. 2. The simulation of temperature field of lining and cooling apparatus / Xue Qingguo, Yang Weiguo, Cheng Susen и др. // J. Univ. Sci. and Techn. Beijing. - 2000. - 7, № 1. - С.30-33. - Англ. - РЖ Metallургия, 00.11-15В.38.

Проведено компьютерное цифровое моделирование температурных полей в футеровке и холодильниках доменной печи. Показаны направления улучшения конструкции холодильника так, чтобы т-ра на его горячей поверхности позволяла образование настывшей шлака, наличие которых гарантирует длительный срок службы холодильников.

179. Применение компьютерных моделей для управления доменным процессом = Utilisation de modeles pour l'aide a la conduite des hauts-fourneaux / De Lassat de Pressigny Y., J.M. Steiler, D. Sert, S. Clairay и др. // Rev. met. (Fr.). - 1996. - 93, № 6. - С. 767-774, V-VI. - Фр.; рез. англ., нем., исп. - РЖ Metallургия, 1997, 10В167.

180. Применение компьютерных сетей с элементами искусственного интеллекта для прогноза растроянностей доменных печей = Some applications of neural networks for prediction of blast furnace irregularities / Zuo Guangqing, Ma Jitang, Bjökman // Steel Res. - 1998 - 69, № 2. - С. 41-48 - Англ.; рез. нем. - РЖ Metallургия, 1999, 5В93.

181. Проектирование доменной печи для длительной кампании (Часть 1): математическая модель температурных полей в кладке и холодильниках; новая концепция конструкции холодильника для доменной печи. = Designing for long campaign life blast furnace. (1). - The mathematical model of temperature field for blast furnace lining and cooling / Cheng Susen, Xue Qingguo, Yang Weiguo и др. // J. Univ. Sci. and Techn. Beijing. - 1999. - 6, № 3. - С. 178-182. - Англ. - РЖ Metallургия, 00.06-15В.102.

В разработанной модели использованы уравнения теплопередачи в трехмерном пространстве.

182. Разработка математической модели доменного процесса и ее применение для снижения содержания кремния в чугунах / Sato Takeshi, Nouchi Taihei, Kiguchi Mitsuru // Kawasaki seitetsu giho = Kawasaki Steel Giho. - 1997. - 29, № 1. - С. 30-36. - Яп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1998, 1В143.

Математическая модель обеспечивает: 1) прогноз с большой точностью формы слоев шихты; 2) моделирование методом фокусирования характера газораспределения и теплообмена в зоне когезии с учетом анализа слоистой структуры; 3) моделирование разрушения шихты в печи.

183. Разработка математической модели и компьютерное моделирование процесса движения шихты в доменной печи / Cheng Suseu, Xue Qingguo // Jinsu xuebao = Acta met. sin. - 1999. - 35, № 4. - С. 407-410. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 00.03-15В.129.

Разработана математическая модель процесса движения шихтовых мате-

риалов в доменной печи. В модели используется шесть безразмерных критериев, учитывающих влияние на движение материалов в печи вязкости газа, силы трения о стены, свойства шлака и металла. Полученные результаты с упрощенной моделью соответствуют результатам, полученным с помощью других моделей. Определены критические значения скорости газа и давления ряда значений порозности шихты.

184. Разработка модели для управления температурой чугуна в доменной печи и ее использование для подготовки к пуску печи / Otsuka Yoshihisa, Konishi Masami, Maki Takeshi // *Trans. Inst. Syst., Contr. and Inf. Eng.* - 2000. - 13, № 3. - С. 105-114. - Яп.; рез. англ. - РЖ *Металлургия*, 01.08-15В.85 .

Разработанная математическая модель базируется на положениях теории управления и позволяет определить, что температуру чугуна можно стабилизировать, используя обратную связь об уровне теплового состояния в нижней зоне доменной печи. Данную модель целесообразно включить в систему управления процессом и с ее помощью можно прогнозировать изменение показателей работы печи в период задувки.

185. Трехмерное многофазное математическое моделирование доменного процесса на основании модели движения потоков жидкости = Three-dimensional multiphase mathematical modelling of the blast furnace based on the multifluid model / De Castro Jose Adilson, Nogami Hiroshi, Yagi Jun-ichiro // *ISIJ International.* - 2002. - 42, № 1. - С. 44-52. – Англ. - РЖ *Металлургия*, 02.12-15В.102.

Модель разработана на основе представления о доменной печи как многофазном химическом реакторе, в котором одновременно взаимодействуют пять фаз (газ, сыпучие: агломерат, окатыши, кокс; чугун; шлак и ПУТ), которые ведут себя как жидкости, и между ними осуществляется обмен энергией и массообмен. Модель включает в себя основные балансовые уравнения каждой фазы, решение которых основано на применении метода конечных объемов.

186. Уточненный метод многофазового и многопоточного моделирования доменного процесса = Sophisticated multi-phase multi-flow modeling of the blast furnace / Zaimi Sami Alex, Akiyama Tomohiro, Guillot Jean-Berrard, Yagi Jun-ichiro // *ISIJ International.* - 2000. - 40, № 4. - С. 322-331. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 01.03-15В.116.

Совершенствована существующая тотальная модель потоков 4-х фаз: газовой, жидкой, твердой кусковой и твердой порошкообразной. Для расчетов использован метод конечных элементов. Модель позволяет получать поле скоростей движения твердых частиц и профиль коксового тотермана.

187. Цифровое моделирование температурных полей в стенах доменной печи с системой холодильников. 1. Влияние типа огнеупоров и их износа / Xue Qingguo, Gao Xiaowu, Chent Susen // *Beijing keji daxue xuebao = J. Univ. Sci. and Techn. Beijing.* - 2000. - 22, № 2.- С.127-130. - Кит.; рез. англ. - РЖ *Металлургия*, 00.11-15В.40.

С помощью метода конечных элементов проведено цифровое моделирование температурных полей в стенках доменных печей с системой холодильников

при различных типах огнеупоров в степени их износа. Изучены причины и механизм износа огнеупоров в нижней части шахты доменной печи.

ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ

188. Башмаков Д.Л. Компьютерная система контроля электротехнологического процесса при производстве легирующих материалов / Д.Л. Башмаков // 22 Гагар. чтения: Сб. тез. докл. молод. науч. конф., Москва, 2-6 апр., 1996. Ч. 1. – М., 1996. – С.26. – РЖ Metallургия, 1996, 7В229.

189. Бондарев А.А. Использование методов математического и физического моделирования для совершенствования внепечных способов получения лигатур на основе ферросилиция / А.А. Бондарев, Д.А. Лубяной, В.В. Кожевин // Современ. пробл. электрометаллургии стали: Материалы 11 междунар. конф., посвящ. 300-летию Уральской металлургии, Челябинск, 2001. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. - С.151-153. - РЖ Metallургия, 02.04-15В.130.

190. Витальев А.В. Математическое моделирование процесса углеродотермического металлургического обогащения ванадиевого шлака / А.В. Витальев, А.М. Бигеев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 12. - С.42.

191. Воронов Ю.И. Математическая программа температурного режима металлотермического процесса получения ферросплавов / Ю.И. Воронов, В.П. Зайков // Сталь. - 1999. - № 3. - С.25-29.

192. Гаврилов В.А. Оптимизация режимов работы ферросплавных печей / В.А. Гаврилов, И.И. Поляков, О.И. Поляков. – М.: Metallургия, 1996. – 174 с. – РЖ Metallургия, 1996, 9В122К.

193. Гриншпунт А.Г. Математическое моделирование температурных полей самообжигающихся электродов рудовосстановительных печей / А.Г. Гриншпунт, А.А. Шлухин, И.В. Гендин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 5. - С. 27-30.

194. Компьютерные программы по расчету параметров выплавки ферросплавов непрерывным углеродотермическим процессом / В.И. Кулинич, Б.А. Святков, Н.П. Головачев и др. // Сталь. - 2002. - № 1. - С. 40-43. - РЖ Metallургия, 02.10-15В.133.

Производство ферросплавов понимается как единство и баланс параметров пространства, физхимии и электротехники, в которых осуществляются законы термодинамики, химической кинетики, поверхностных явлений, теплофизики, физики плазмы электродуги, электрической проводимости и индуктивности цепей из гетерогенных, несплошных сред в сложной геометрической форме. Применение и обработка математических выражений этих законов на прикладном уровне и их связей с практическими характеристиками технологии превращаются в довольно сложные и многосимвольные эмпирические уравнения.

195. Крашенников М.В. Математическая модель процесса получения ферроникеля при продукте оксидного расплава восстановительным газом / М.В. Крашенников, Л.И. Леонтьев // Расплавы. - 2001. - № 2. - С. 37-41.- РЖ Metallургия, 02.06-15В.96.

Разрабатывается технология получения ферроникеля методом продувки расплава железоникелевой руды восстановительным газом. В результате химических реакций на границе газ-расплав из последнего выделяется металлическая фаза, состоящая в основном из железа и никеля. Свежевыплавленный металл при перемешивании коагулирует и осаждается, формируя донную металлическую ванну - ферроникель. Указанный механизм жидкофазного газового восстановления позволяет разбить весь процесс на множество последовательных этапов.

196. Лыков А.Г. Математическое моделирование при расчетах рудно-термических электропечей / А.Г. Лыков, Г.Д. Боголюбов // Изобрет.-машиностр. – 1998. - № 1. – С. 16. – РЖ Metallургия, 1998, 11В217.

197. Математическая модель теплообмена и плавления кусков ферросплавов в движущемся расплаве / А.С. Носков, А.В. Некрасов, А.Л. Завьялов, В.И. Жучков // Соврем. пробл. электротехнологии стали: Тез. докл. 9 Междунар. конф., Челябинск, 1995. – Челябинск, 1995. – С. 56-57. – РЖ Metallургия, 1996, 1В109.

198. Нурумгалиев А.Х. Моделирование процесса получения комплексных ферросплавов / А.Х. Нурумгалиев, К.К. Каскин, Н.Б. Бексултанов // Соврем. пробл. электротехнологии стали: Материалы 11 Междунар. конф., посвящ. 300-летию Уральской металлургии, Челябинск, 2001. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. - С. 150-151. - РЖ Metallургия, 02.04-15В.129.

В результате моделирования выявлено: оптимальная область процесса выплавки сплавов в интервале температур 2373-2573 К°. В этой области замечено высокое извлечение ведущих элементов в металл. В результате моделирования установлено: процесс выплавки ферросиликоалюминия сопровождается улетом субоксидов кремния и алюминия в газовую фазу и с повышением температуры усиливается.

199. Парамонова М.Г. Комплексное моделирование процессов в рудно-термической печи / М.Г. Парамонова, Ю.М. Миронов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 7 Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Москва, 27-28 февр., 2001: Тезисы докладов. Т. 2. - М.: Изд-во МЭИ, 2001. - С.152. - РЖ Metallургия, 02.10-15В.66.

При исследовании энергетических процессов в руднотермических печах для определения параметров схемы замещения в различные части полупериода тока использован разработанный метод математического моделирования распределения мощности по ванне с учетом газовой полости при дуговом разряде.

200. Поляков О.И. Математическая модель распределения потенциалов и удельных объемных мощностей в самообжигающемся электроде ферросплавной электропечи / О.И. Поляков, А.В. Гончаров // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1999. - № 2-3. – С. 22-25.

201. Разработка теплофизической модели рудно-термической печи с целью совершенствования ее конструкции и технологии плавки / И.Н. Блатов, Ю.С. Жуковский, К.И. Момондз, А.А. Плетнев // Электротехнология. - 2000. - № 2. - С. 5-10.

202. Результаты комплексных исследований по оптимизации производства марганцевых ферросплавов / И.И. Люборец, О.Г. Овчарук, О.Г. Ганцеровский, И.П. Рогачев // *Сталь*. - 1999. - № 8. - С.34-36.

203. Савичева Н.Н. Математическое моделирование распределения газовых потоков в рабочем пространстве рудно-термической печи / Н.Н. Савичева // Ежегод. науч. конф. мол. ученых "Полез. ископаемые России и их освоение", Санкт-Петербург, 15-16 апр., 1998: Тез. докл. – СПб, 1998. – С. 151. – РЖ *Металлургия*, 1999, 5В116.

204. Математическая модель для определения электрического сопротивления шлака ферромарганцевого производства = Model matematic pentru determinarea the electric resistivity of ferromanganese slag / Nicolae M., Bogdan N. // *Metalurgia*. – 1996. – 48, № 6-7. – С. 98-104. – Рум.; рез. англ. – РЖ *Металлургия*, 1997, 4В72.

205. Трехмерная модель электрода Soderberg = A three dimensional simulation model for a soderberg electrode / Jonsson M.T., Ingason H.T. // 8th Int. Ferroleloys Congr. Proc., Beijing, June 7-10, 1998. – Beijing, 1998. – С. 383-388. – Англ. – РЖ *Металлургия*, 1998, 11В210.

МАРТЕНОВСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

206. Коминов С.В. Математическая модель расчета сновных технологических параметров управления мартеновской плавкой / С.В. Коминов, С.С. Бакума, С.О. Туркин // *Изв. вузов. Чер. металлургия*. - 1999. - № 5. - С.19-21. - РЖ *Металлургия*, 1999, 11В158.

Рассмотрен принципиальный подход к созданию математической модели мартеновского процесса, графического интерфейса пользователя. На их базе создана система расчета основных технологических параметров управления мартеновской плавкой. Разработка велась в двух направлениях: для классического скрапрудного процесса и процесса выплавки стали из полупродукта в мартеновских печах Чусовского металлургического завода.

207. Огороков Б.Н. Разработка математического описания тепловых и технологических процессов в агрегатах мартеновского класса с целью их управляемости и эффективности / Б.Н. Огороков, А.Ю. Ольшевский // Международная конференция-диспут "Металлургия и металлурги 21 века", посвящ. 90-летию со дня рождения В.И. Явойского, Москва, 27-30 ноября, 2000: Сборник трудов. - М.: МИСиС, 2001. - С. 410-417. - РЖ *Металлургия*, 02.02-15Б.32.

Представлена математическая модель периода доводки мартеновского процесса в двухванном прямоточном сталеплавильном агрегате. Приведены результаты моделирования изменения основных компонентов в Ме и шлаке.

208. Ольшевский А.Ю. Разработка математических моделей тепловых и технологических процессов периода доводки в подовых агрегатах / А.Ю. Ольшевский, Б.Н. Огороков // *Металлург*. - 2001. - № 8. - С.39-42.

209. Смирнова Е.О. Разработка математической модели технологии пе-

риода плавления шихты в мартеновской печи / Е.О. Смирнова // Ежегод. науч. конф. мол. ученых "Полез. ископаемые России и их освоение", Санкт-Петербург, 23-24 апр., 1997. - СПб, 1997. - С. 152. - РЖ Metallургия, 1999, 9В151.

Предпринята попытка разработки существенно новой методики расчета технологии плавки. Она состоит в построении математической модели, основанной на анализе и учете полного вещественного состава материалов и продуктов процесса. При этом большинство величин, необходимых для расчета технологии, задаются или принимаются в качестве известных исходных данных в головном блоке модели. В данной работе в качестве объекта принят вариант скрап- рудного процесса мартеновской плавки. Модель составлена для первого этапа плавки-завалки твердой шихты, заливки жидкого чугуна и плавления.

КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

210. Базин Д.А. Математическое описание конвертерного процесса как открытой термодинамической неравновесной системы / Д.А. Базин, Б.Н. Окоороков, Л.В. Ронков // Международная конференция-диспут "Металлургия и металлурги 21 века", посвященная 90-летию со дня рождения В.И. Явойского, Москва, 2000, 27-30 ноября. - М.: Изд-во МИСиС, 2001. - С. 363-378. - РЖ Metallургия, 02.03-15А.97.

Проведены работы по описанию конвертерного процесса с точки зрения открытой неравновесной системы. Результатом этих исследований стали разработки математических моделей реакционной зоны и остальных процессов, происходящих в остальной части конвертерной ванны.

211. Бигеев А.М. Исследование на математической модели двухшлакового конвертерного процесса / А.М. Бигеев, В.А. Бигеев // Тр. 5-го Конгр. сталеплавильщиков, Москва, 7-10 окт., 1996. - М., 1999. - С. 90-92. - РЖ Metallургия, 00.09-15В.114.

В производственной практике есть случаи, когда применение двухшлакового процесса становится обязательным и экономически оправданным. К ним относятся: передел чугунов с высоким содержанием фосфора, выплавка стали с особо низким содержанием углерода и прямое раскисление-легирование Me в конвертере. При математическом описании процесса дефосфорации Me в сталеплавильных агрегатах за основу количественной характеристики принимается относительная величина, выражающая отношение начального содержания фосфора в металлошихте к его содержанию в конечном рафинированном металле.

212. Бигеев В.А. Математическое моделирование технологии конвертерной плавки с обновлением шлака и присадками марганцевых материалов / В.А. Бигеев, К.В. Казятин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 1. - С.21-23. - РЖ Metallургия, 1998, 9В174.

Разработан алгоритм расчета основных параметров 2-шлаковой технологии кислородно-конвертерной плавки с присадкой в ее второй половине марганцевых оксидных материалов.

213. Горетова Е.А. Применение математических моделей в управлении технологическими режимами кислородно-конвертерного процесса / Е.А. Горетова, С.В. Хомлев // Теория и технология металлургического производства: Межрегиональный сборник научных трудов. Вып. 1. Магнитогор. гос. техн. ун-т. - Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2001. - С.42-46. - РЖ Металлургия, 02.10-15В.161.

Рекомендуется внедрить на ККЦ ОАО "ММК" комплексную систему многофакторного контроля и прямого управления плавкой.

214. Гресс А.В. Численные исследования предварительного подогрева лома в полости конвертера газокислородными факелами боковых фурм многоцелевого назначения / А.В. Гресс, С.П. Пантейков, А.Г. Чернятевич // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 12. - С.11-15. - РЖ Металлургия, 1999, 7Б42.

Приведены результаты исследований с помощью разработанной математической модели процесса предварительного подогрева лома газокислородными факелами боковых фурм 250-т конвертера при вертикальном и наклонном его положениях. Определены значения t -ры поверхности и среднемассовой t -ры лома при различных вариантах его подогрева по истечении 5 мин. Результаты численных исследований показали, что подогрев лома при наклонном положении конвертера более эффективен, нежели при вертикальном.

215. Гусев А.А. Математическая модель заключительного этапа продувки конвертерного процесса / А.А. Гусев, Б.Н. Окороков // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 5. - С. 6-11. - РЖ Металлургия, 00.12-15В.148.

Данная математическая модель разработана на основе термодинамики необратимых процессов. Представлена методика построения необратимых процессов. Предложен комбинированный метод решения систем нелинейных уравнений в таких моделях на этапе их программной реализации.

216. Жульковский О.А. Математическая модель тепловой работы наконечника верхней кислородной фурмы / О.А. Жульковский // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 4. - С.8-12. - РЖ Металлургия, 00.12-15В.151.

Разработана математическая модель тепловой работы наконечника верхней кислородной фурмы. Для решения трехмерной задачи теплопроводности применена локально-одномерная неявная разностная схема, полученная методом теплового баланса. Задача решена на равномерной пространственной сетке в цилиндрической системе координат методом правой прогонки.

217. Жульковский О.А. Численное исследование температурного режима работы ствола верхней конвертерной фурмы / О.А. Жульковский // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 1. - С. 16-19.

218. Киндоп В.Э. Математическая модель поведения азота при кислородно-конвертерном процессе / В.Э. Киндоп, А.Г. Свяжин // Труды 6 Конгресса сталеплавильщиков, Череповец, 17-19 окт., 2000. - М.: ОАО "Черметинформация", 2001. - С. 66-71. - РЖ Металлургия, 02.05-15В.154.

В данной работе с помощью приведенных уравнений и полученных кинетических характеристик, учитывая технические и конструктивные параметры

кислородных конвертеров ККЦ-2 НЛМК, рассчитано изменение концентрации азота по ходу плавки для различных вариантов конвертерного процесса.

219. Кожухов А.А. Исследование эффективности продувки конвертерной ванны двухъярусным потоком кислорода методом математического моделирования / А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - № 7. - С. 17-20.

220. Королькова Л.Н. Математическая модель дожигания углерода в конвертере / Л.Н. Королькова, Э.Э. Меркер, Е.С. Колекционова // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 9. - С. 24.

221. Маракулин Ю.А. Математическое моделирование газодинамических процессов применительно к задачам механизированного торкретирования конвертеров / Ю.А. Маракулин, А.Д. Рычков, Е.А. Коньков // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 4. - С. 68-72.

222. Математическая модель гидродинамических процессов в полости конвертера при продувке шлакового расплава газовыми струями / Е.В. Протопопов, Р.С. Айзатулов, А.Г. Чернятевич и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 2. - С. 5-9. - РЖ Металлургия, 1997, 8В76.

Построена математическая модель гидродинамических процессов полости конвертера, происходящих при верхней продувке шлакового расплава газовыми струями с направленным нанесением брызг шлака на стенки агрегата. На примере тестовых расчетов для 160-т конвертера показана качественная адекватность модели рассматриваемому процессу. Построенная модель может использоваться как исходная для расчета местонахождения и толщины шлакового слоя, образующегося на поверхности конвертера.

223. Математическая модель дожигания монооксида углерода в конвертере. Газовая динамика / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, Л.А. Ганзер и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 6. - С. 7-11. - РЖ Металлургия, 1999, 4В105.

Показана принципиальная возможность анализа течения газов в конвертере при продувке кислородом сверху через двухпоточную фурму для дожигания монооксида углерода до его диоксида. Разработанная методика позволяет исследовать влияние конструктивных особенностей фурмы (высота, угол наклона сопел, расстояние между контурами фурмы) и технологических параметров продувки (давление, расход кислорода и скорости дутья) на распределение концентраций газов.

224. Математическая модель дожигания монооксида углерода в конвертере. Теплообмен / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, Л.А. Ганзер и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 10. - С. 20-24.

225. Математическая модель процесса взаимодействия газовых струй с жидкой металлической ванной / А.В. Гуляев, С.В. Коминов, Б.Н. Огороков, С.С. Бакума // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2000. - № 7. - С. 20-22.

226. Математическое моделирование гидродинамических процессов шлаковой и металлической фаз конвертерной ванны при комбинированной продувке / Е.В.Протопопов, Л.А. Ганзер, А.Н. Лаврик и др. // Изв. вузов. Чер.

Металлургия. – 2002. - № 4. – С. 9-13.

227. Математическое моделирование процесса усвоения легирующих и корректирующих добавок молибден и никельсодержащих материалов в конвертерной ванне / А.В. Кекух, В.А. Вихлевщук, И.А. Павлюченков, А.В. Потапов; Ин-т чер. металлургии НАН Украины. – Днепропетровск, 1995. – Деп. В ГНТБ Украины 10.07.95, 1737-Ук95 - РЖ Металлургия, 1995, 12В194 Деп.

Методами математического моделирования исследована кинетика усвоения конвертерной ванной легирующих и корректирующих добавок молибден и никельсодержащих добавок, вводимых в шихту и в процессе кислородной продувки металла.

228. Милошевич Х. Математическое моделирование струйного торкретирования сталеплавильных конвертеров / Х. Милошевич // Теплофизика и аэромеханика. – 1999. – 6, № 1. – С. 125-132. – РЖ Металлургия, 1999, 10В134.

229. Милошевич Х. Численное моделирование процесса взаимодействия струи кислорода с жидким металлом в сталеплавильном конвертере / Х. Милошевич, А.Д. Рычков // Вычисл. технолог. - 1998. - 3, № 6. - С. 54-62. - РЖ Металлургия, 1999, 5В134.

Разработана методика численного моделирования процесса верхней продувки конвертера с учетом дожигания монооксида углерода в полости каверны в точной постановке. Исследована структура двухфазного течения в полости каверны с учетом протекания здесь химических реакций.

230. Милошевич Х. Численное моделирование процесса верхней продувки сталеплавильных конвертеров / Х. Милошевич, А.Д. Рычков // 3-й Сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике (ИНПРИМ-98): посвящ. памяти С.Л. Соболева (1908 -1989): Тез. докл. Ч. 3 . - Новосибирск, 1998. - С. 17. - РЖ Металлургия, 01.04-15В.137К.

Рассматривается задача о взаимодействии сверхзвуковой струи кислорода с поверхностью жидкого металла с образованием газовой полости, к решению которой и сводится моделирование процесса.

231. Милошевич Х. Численное моделирование процесса дожигания монооксида углерода при верхней продувке сталеплавильного конвертера / Х. Милошевич // Теплофизика и аэромеханика. - 1999. - 6, № 2. - С. 283-290. - РЖ Металлургия, 00.01-15В.135.

Численно исследован процесс взаимодействия высоконапорных струй кислорода с поверхностью жидкого Ме в сталеплавильном конвертере, где под силовым воздействием струй в толще Ме образуется каверна, поверхность которой является гидродинамически неустойчивой. Предложена упрощенная схема химических реакций и механизмы диспергирования капель Ме с поверхности раздела фаз, позволяющие правильно описывать газодинамическую картину течения в полости каверны. Моделирование двухфазного турбулентного течения в каверне рассматривается в рамках континуальной модели на основе осредненных уравнений Навье-Стокса.

232. Милошевич Х. Численное моделирование струйного торкретирования сталеплавильных конвертеров / Х. Милошевич // Теплофизика и аэромеха-

ника. - 1999. - 6, № 1. - С.125-132. - РЖ Metallургия, 1999, 10В134.

Торкретирование (нанесение дополнительного огнеупорного покрытия) стенок конвертера происходит с помощью двухфазных дозвуковых турбулентных струй. Моделирование течения этих струй рассматривается в рамках k-ε модели турбулентности с использованием ее модификаций. Предложена модель образования торкретирующего слоя, состоящего из закрепившихся на стенке частиц, и исследована динамика его поведения.

233. Потапов А.В. Численное исследование массопереноса углерода и кислорода в конвертерной ванне / А.В. Потапов // Труды 6 Конгресса сталеплавильщиков, Череповец, 17-19 окт., 2000. - М.: ОАО "Черметинформация", 2001. - С. 108-110. - РЖ Metallургия, 02. 03-15В.128.

В результате проведенных вычислений были определены поля концентраций кислорода и углерода, средние по области концентрации кислорода и углерода и их изменение по времени. Расчеты показали, что с течением времени средняя по полю концентрация кислорода возрастает.

234. Протопопов Е.В. Исследование химических и температурных градиентов в конвертерной ванне с использованием высокотемпературного моделирования / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, С.В. Юдин // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 10. - С.20-24. - РЖ Metallургия, 1998, 7В104.

С использованием высокотемпературного моделирования на 60-кг конвертере получена прямая информация о химических и температурных градиентах в конвертерной ванне, характере и скорости циркуляционных потоков, что позволило оценить эффективные коэф турбулентной диффузии и теплопроводности.

235. Протопопов Е.В. Кинетическая модель рафинирования конвертерной ванны в период послепродувочной ее обработки нейтральным газом / Е.В. Протопопов, К.М. Шакиров // Тр. 4 Конгр. сталеплавильщиков, Москва, 7-10 окт., 1996. - М, 1997. - С.116-118. - РЖ Metallургия, 1998, 7В111.

Излагаются физические и математические модели периода послепродувочного перемешивания конвертерной ванны, основанные на законах химической термодинамики, кинетики гетерогенных реакций и гидродинамике взаимодействующих фаз.

236. Протопопов Е.В. Математическая модель образования шлакового гарнисажа на поверхностях футеровки и верхней фурмы конвертера при продувке шлакового расплава газовыми струями / Е.В. Протопопов, Р.С. Айзатулов, А.Г. Чернятевич // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 4. - С.14-17.

237. Протопопов Е.В. Моделирование гидродинамики конвертерной ванны в зоне продувки при использовании сопел нетрадиционной формы / Е.В. Протопопов, Л.А. Ганзер; Сиб. гос. горно-металлург. акад. - Новокузнецк, 1996. - 24 с. - Деп. в ВИНТИ 07.10.96, № 2952-В96. - РЖ Metallургия, 1997, 3В137Деп.

С использованием математического моделирования получена информация о циркуляции жидкости в зоне продувки конвертерной ванны струями с разным динамическим напором, что позволило оптимизировать и разработать варианты

конструкций 2-поточных газокислородных фурм для конвертирования металла в 160-т конвертерах.

238. Протопопов Е.В. Условия подобия при высокотемпературном моделировании конвертерных процессов. Аэрогидродинамическое подобие / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 8. - С.26-31.

239. Сорокин Н.А. Математическая модель волнообразования в сталеплавильной ванне / Н.А. Сорокин, В.С. Богусhevский, Ю.В. Оробцев // Сталь. - 1995. - №2. - С. 15-20.

240. Чернятевич А.Г. Высокотемпературное моделирование поведения конвертерной ванны при комбинированной продувке кислородом / А.Г. Чернятевич, А.С. Бродский, С.П. Пантейков // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 12. - С. 27-31.

241. Численное исследование теплообмена в конвертерной ванне при воздействии электрической энергии / А.Ю. Дреус, В.Ф. Поляков, С.И. Семькин, А.В. Потапов // Матер. междунар. науч.-техн. конф. "Пр-во стали в 21 в.: прогноз, процессы, технол., экол.", посвящ. 90-летию со дня рожд. проф. В.И. Явойского, Киев-Днепродзержинск, 2000, 15-19 мая. - Киев, 2000. - С.125-129. - РЖ Металлургия, 00.11-15Б.43.

Предложена математическая модель теплообмена в конвертерной ванне при воздействии электрического тока при разработке которой принималось, что электрическое воздействие осуществляется путем наложения электрического потенциала на корпус продувочного модуля и донный контактный электрод и что лунка заполнена электропроводной жидкостью. Система уравнений, описывающая взаимосвязанные процессы гидродинамики и теплообмена численно-аналитически решалась на основе метода прямых. Приведены результаты расчетов в виде распределения изотерм по осевому сечению ванны для различных вариантов наложения электрического потенциала.

242. Численное моделирование массопереносных процессов в конвертерной ванне при присадке окалины и окатышей / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, С.Е. Самохвалов и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 2. - С. 7-10.

243. Численное моделирование перемешивания и теплообмена в конвертерной ванне при комбинированной продувке / Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, С.Е. Самохвалов и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 12. - С.3-8.

244. Экспериментальное исследование и математическое моделирование гидродинамики расплава в двухкамерном ковше / А.Г. Чернятевич, Е.Н. Сигарев, В.Н. Селищев, С.Е. Самохвалов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2002. - №10. - С. 17-22.

245. Яковлев Ю.Н. Математическое моделирование влияния процессов массообмена на критическую концентрацию углерода при его окислении в сталеплавильной ванне / Ю.Н. Яковлев, Л.В. Величко, Л.В. Калинина // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2001. - №12. - С. 51-53.

246. Математическая модель образования, движения и теплопередачи капли в кислородном конвертере = A mathematical model of droplet generation, movement and heat transfer in BOF / В. Li, Y. He, Y. Sahai // Jinsu xuebao = Acta met. sin. - 1995. - 31, № 4. - С.В145-В151. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1996, 2В189.

На основе исследования газовых потоков в основном кислородном конвертере с верхним дутьем, процесса горения и теплопередачи параметры, определяющие образование капли, представлены в виде функций распределения. Движение капли описано с помощью оператора Лагранжа.

247. Математическое моделирование окисления углерода в АОД-процессе = Matematicko modelovanje izgaranja ugljenika kod AOD procesa / Jovanovic Nenad, Svetkovic Mladen, Mitrovic Dragan // Tehnika. - 1996. - 51, № 1-2. - С. RYM-RYM 14. - Серб.-хорв.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1997, 1В165.

248. Математическое моделирование процесса аргон-кислородного обезуглероживания нержавеющей стали: часть 2. Использование модели в промышленных условиях = Mathematical modelling of the argon-oxygen decarburization refining processes of stainless steel. Part II. Application of the model to indu / Wei Ji-He, Zhu De-Ping // Met. and Mater. Trans. B. - 2002. - 33, № 1. - С. 121-127. - Англ. - РЖ Metallургия, 02.12-15А.86.

Предложенная модель была испытана для анализа производства аустенитной нержавеющей стали в аргонкислородном конвертере. Результаты расчетов показывают, что концентрации С и Сг в конце периода продувки металла находятся в очень хорошем соответствии с данными плавов.

249. Математическое моделирование процесса обезуглероживания стали при аргоно-кислородном обезуглероживании = Study on mathematical modeling of decarburization during AOD refining process of steel / Wei Ji-He, Zhu De-Ping // JOM: J. Miner., Metals and Mater. Soc. - 2000, 52. - №11. - С.117. - Англ. - РЖ Metallургия, 01.08-15В.136.

Изучено влияние Cr, Mn, Si в стали и ее температуры на обезуглероживание коррозионностойкой стали при АОД-процессе.

250. Модель управления рафинированием нержавеющей стали / Miyamoto Kenichiro, Kitamura Shinya, Tsujino Ryoji, Kato Katsuhiko // Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap. - 1996. - 82, № 3. - С. 191-196. - Яп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1996, 11 В157.

При построении модели установлена величина индекса рафинирования (DOS), характеризующая распределение кислорода на окисление С и Сг в расплаве нержавеющей Ст. Модель включает балансы тепла и массы в объеме конвертера и обеспечивает возможность расчета т-ры и состава Ме, а также массы и состава шлака.

251. Численное моделирование колебаний температуры и напряжений в периклазографитовых огнеупорах конвертерной футеровки / S. Uchida, K. Ichikawa, T. Yamamura, R. Nakamura // Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap. - 1996. - 82, № 11. - С. 881-886. - Яп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1997, 5В148.

Периклазографитовые огнеупоры в конвертерной футеровке в процессе

службы подвергаются многократным термическим нагрузкам, в результате которых их размеры уменьшаются. Анализ проводили методом конечных элементов. Было обнаружено, что коэффициент термического расширения и модуль упругости, применяемые при моделировании в начале работы, отличаются от тех, что применили в середине работы.

252. Численное моделирование поведения азота по ходу конвертерного процесса = Simulationsrechnungen zur Entwicklung der Stickstoff-fgehlte im LD-Prozes / Kempken Jens, Pluschkell Wolfgang // Stahl und Eisen. - 1995. - 115, № 8. - С.67-73, 140. - Нем.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1996, 4В195.

Математическая модель процессов поступления и удаления азота, учитывающая влияние подачи инертных газов, в том числе азота, через пористые донные фурмы свидетельствует о возможности выявления технологических режимов конвертирования, обеспечивающих получение заданного уровня т-ры и состава стали, включая заданную концентрацию азота, при различных вариантах шихтовки.

253. Численное моделирование процессов перемешивания в кислородном конвертере. Влияние вводимых добавок = Simulacion numerica del proceso de mezcla en el convertidor de acero.Efecto del metodo de carga de los aditivos / M. Diaz, M.E. Garcia // Rev. met. / CENIM. - 1996. - 32, № 2. - С. 96-102. - Исп.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1996, 11В158.

Предложена достаточно простая математическая модель, основанная на рассмотрении ячеек и линий тока на различных горизонтах агрегата. Модель не требует сложной аппаратуры для реализации решений и позволяет проводить анализ условий перемешивания при введении в конвертер различных присадок.

254. Числовое моделирование транспортировки пыли с газами, удаляемыми от конвертера = Numerical simulation model for exhaust gas transportation of dust in the BOF / Chigwedu Champion, Kempken Jens , Ploch Andreas , Pluschkell Wolfgang // Steel Res. - 1995. - 66, № 8. - С. 341-348. - Англ.; рез. нем. - РЖ Metallургия, 1996, 4В194.

В работе рассмотрена возможность математического моделирования особенностей пневмотранспорта и осаждения пылевидных частиц по тракту газоочистки.

ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

255. Ахонин С.В. Математическое моделирование процесса растворения включений TiN в расплаве титана при ЭЛП / С.В. Ахонин // Пробл. спец. электрометаллургии. - 2001. - № 1. - С. 20-23.

256. Жук Г.В. Моделирование режимов вывода усадочной раковины в цилиндрических слитках ЭЛПЕ / Г.В. Жук, А.Н. Калинин, Н.П. Тригуб // Пробл. спец. электрометаллургии. - 2002. - № 1. - С. 23-25.

257. Лесной А.Б. Моделирование гидродинамики теплообмена при кристаллизации слитков электроннолучевого переплава / А.Б. Лесной, В.Ф. Демченко, М.Л. Жадкевич // Пробл. спец. электрометаллургии. - 2001. - № 2. - С.

17-21.

258. Лукашенко А.В. Система компьютерного моделирования электроэнергетических режимов работы дуговых печей / А.В. Лукашенко, Б.А. Эйдензон // Всерос. науч. конф. "Электротехнол.: сегодня и завтра", ЭТ-97, Чебоксары, 14-16 мая, 1997: Тез. докл. - Чебоксары. - 1997. - С.60-61. - РЖ Metallургия, 1998, 12В214.

Рассматривается решение задачи моделирования электроэнергетических процессов, протекающих в подэлектродном пространстве и в короткой сети дуговых печей на основе схемных моделей. Электрическая цепь представляется в виде схемной модели, состоящей из линейных и нелинейных, активных и реактивных элементов, отражающих параметры и характеристики подэлектродных зон.

259. Макаров А.Н. Использование математической модели теплообмена для корректирования электрических режимов дуговых сталеплавильных печей / А.Н. Макаров, Р.А. Макаров // Тез. докл. междунар. науч. конф. «Мат. модели нелинейн. возбуждений, переноса, динам., упр. в конденсир. системах и др. средах» Тверь, 2-5 июля, 1996. - Тверь, 1996. - С. 135. - РЖ Metallургия, 1997, 10В213.

260. Макаров А.Н. Математическая модель для расчета угловых коэффициентов излучения дуг сталеплавильных печей / А.Н. Макаров, Р.А. Макаров, В.В. Острик // Всерос. науч. конф. "Электротехнол.: сегодня и завтра", ЭТ-97, Чебоксары, 14-16 мая, 1997: Тез. докл. - Чебоксары, 1997. - С.55-56. - РЖ Metallургия, 1998, 12В218.

Разработана методика расчета угловых коэффициентов излучения дуг на поверхности стен, сводов, ванны Ме дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Получены аналитические выражения для расчета локальных и средних угловых коэффициентов излучения дуг на расчетные площадки для случаев взаимоперпендикулярных, взаимопараллельных и произвольно расположенных плоскостей.

261. Макаров А.Н. Математическое моделирование переноса энергии и ее экономия в электросталеплавильном производстве: Тезисы докладов 3-й Международной научной конференции / А.Н. Макаров, Д.С. Папков // Математические модели нелинейных возбуждений, переноса, динамики, управления в конденсированных системах и других средах, Тверь, 29 июня-3 июля, 1998. - Тверь: Изд-во ТГТУ, 1998. - С.86. - РЖ Metallургия, 01.10-15В.142.

Разработаны теоретические основы переноса энергии излучением от электрических дуг поверхности нагрева в дуговых сталеплавильных печах трехфазного, постоянного токов, плазменно-дуговых сталеплавильных печах. Ноу-хау относится к определению коэффициента полезного действия дуг сталеплавильных печей. Расчет к.п.д. дуг во всем диапазоне тока, потребляемого печью из сети, позволяет определить полезную мощность, поглощаемую шихтой и расплавом, находить максимальную полезную мощность, работать с максимальным к.п.д. всей печи как в жидкие периоды плавки, так и в период расплавления шихты.

262. Математическое моделирование режимов нагрева и выдержки чугуна в магнитодинамическом миксере-дозаторе / Н.И. Тарасевич, В.И. Дубоделов, М.С. Горюх, А.И. Рыбицкий // Пробл. спец. электрометаллургии. - 2002. - № 3. - С. 32-35.

263. Математическое моделирование теплообмена излучением в период расплавления в дуговых сталеплавильных печах: Тезисы докладов 3-й Международной научной конференции / А.Н. Макаров, М.А. Гусев, Р.М. Зуйков, И.А. Сеньков // Математические модели нелинейных возбуждений, переноса, динамики, управления в конденсированных системах и других средах, Тверь, 29 июня-3 июля, 1998. - Тверь: Изд-во ТГТУ, 1998. - С.85. - РЖ Metallургия, 01.10-15В.141.

Период расплавления шихты в дуговых сталеплавильных печах наименее изучен. Наиболее приемлемым методом исследования процессов, происходящих во внутриванном пространстве, является метод аналитического исследования. На действующей стотонной дуговой сталеплавильной печи имело место следующее явление. Шихта расплавлялась под дугами неравномерно, под двумя электродами она расплавлялась быстрее, под третьим расплавление затягивалось. Это приводило к увеличению времени плавки, расхода электроэнергии. Обследование печи показало, что на токоподводе имеется значительная несимметрия реактивных сопротивлений фаз, что приводит к несимметрии мощности дуг. Действуя не экспериментально, а аналитически, рассчитали распределение токов излучением дуг по шихте для конкретных значений токов фаз и определили рациональный вариант.

264. Математическое моделирование электромеханических колебаний в дуговых сталеплавильных печах / А.Н. Ведин, Л.П. Горева, В.С. Чередниченко, М.Г. Кузьмин // Науч. вестн. НГТУ. - 2000. - № 2. - С. 147-160. - РЖ Metallургия, 02.09-15В.171.

Разработана математическая модель электромеханической системы дуговых сталеплавильных электропечей, позволяющая проводить расчет деформаций с использованием метода конечных элементов.

265. Моделирование теплообменных процессов в полном водоохлаждаемом электроде дуговой электропечи / Ю.А. Герасимов, Е.Н. Крючков, В.И. Иванов, В.К. Тарасов // Тр. Запорож. гос. инж. акад. Metallургия. - 1998. - № 1. - С.105-107. - РЖ Metallургия, 01.03-15В.150.

Разработана и реализована на ПЭВМ математическая модель процесса теплообмена для полого водоохлаждаемого электрода дуговой печи. Проведено численное моделирование работы электрода в различных тепловых условиях.

266. Моделирование усвоения азота стальной ванны из азотированных ферросплавов / Ю.С. Венец, Г.Н. Трегубенко, М.И. Тарасьев, А.В. Рабинович // Metallургическая и горнорудная промышленность. - 2000. - № 4. - С.35.

267. Нохрин В.И. Разработка математической модели процесса выплавки нержавеющей стали / В.И. Нохрин, Д.В. Нохрина // Актуальные проблемы электрометаллургии стали и ферросплавов: Материалы юбилейной научно-практической конференции, Новокузнецк, 17-18 мая, 2001. - Новокузнецк:

Изд-во СибГИУ, 2002. - С.117-118. - РЖ Metallургия, 02.10-15В.181.

На основании физико-химических закономерностей выплавки коррозионно-стойкой стали X18H10T была разработана математическая модель, включающая в себя блоки расчета шихты, корректировки плавки по химическому составу, управления раскислением, легированием титаном. Программа представляет собой ряд электронных таблиц, связанных между собой в определенной последовательности для решения поставленных задач.

268. Одномерная математическая модель теплофизических процессов в индукционном плавителе "холодный тигель" / Н.В. Витик, С.А. Дмитриев, С.А. Владимиров и др. // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - №9. - С.20-22. - РЖ Metallургия, 1999, 5В151.

Рассмотренная одномерная модель позволяет получить аналитическое решение для расчета изменения электромагнитного поля по толщине расплава.

269. Паранчук Я.С. Математическая модель дуг дуговой сталеплавильной печи / Я.С. Паранчук, А.О. Лозинский // Вестн. Харьк. политехн. ун-та. - 1998. - Спец. вып. - С.189. - РЖ Metallургия, 1999, 9В173.

270. Понтен Х.-Й. Ведение процесса на основе модели в электросталеплавильном цехе фирмы MEGASTEEL / Х.-Й. Понтен, Б. Кляйт, В. Шварте // Черные металлы. - 2000. - № 8. - С. 15-20.

271. Разработка и моделирование новых конструктивных решений водоохлаждаемых элементов высокоомощных ДСП / М. Павличевич, П.И. Тищенко, С.Н. Тимошенко, А.М. Торшин // Тр. 4 Конгр. сталеплавильщиков, Москва, 7-10 окт., 1996. - М., 1996. - С.182-183. - РЖ Metallургия, 1998, 8В130.

Разработана математическая модель движения печных газов в тороидальной полости, образованной водоохлаждаемыми элементами свода (ВЭ) для нормальной и тангенциальной систем газоотсоса. Модель используется для оптимизации параметра гидравлической решетки с целью создания равномерности подъема печных газов от ванны к ВЭ свода по периметру рабочего пространства, т.е. для организации распределенного газоотсоса.

272. Разработка математической модели процесса электроплавки коррозионно-стойкой стали / В.М. Шифрин, Д.В. Ермолаев, А.Д. Переверзев, Л.Н. Король // Соврем. пробл. электрометаллургии стали: Тез. докл. 10 Междунар. конф., Челябинск, 1998. - Челябинск, 1998. - С.76. - РЖ Metallургия, 1999, 1В137.

В первоначальный вариант детерминированно-статистической модели управления ходом электроплавки коррозионно-стойкой стали вошли блоки расчета шихты, добавок и управления ходом кислородной продувки. Разработанная система управления выполняет функции контроля и управления технологическими параметрами плавки в режиме "советчик мастера".

273. Ридингер Д. Компьютерная программа для расчета мощности дуговых сталеплавильных печей и стабильности работы дуги / Д. Ридингер, М. Бок // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2002. - № 2. - С.49-51. - РЖ Metallургия, 02.09-15В.170.

Из измерений известно, что закон изменения напряжения на электрической

дуге в широком диапазоне имеет приблизительно прямоугольную форму, поэтому фирмой Badische Stahlengineering GmbH разработана компьютерная программа, которая основывается на этом. Эта модель имеет перед другими то преимущество, что она автоматически генерирует рабочий реактанс.

274. Симонян Л.М. Компьютерное моделирование процесса взаимодействия азотокислородных соединений с металлическими расплавами при плазменной плавке / Л.М. Симонян // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 5. - С. 22-26.

275. Математическое моделирование процесса плавки стали в дуговых печах при использовании в шихте железа прямого получения = A mathematical simulator for the EAF steelmaking using direct reduced iron / R.D. Morales, H. Rodriguez-Hernandez, A.N. Conejo // ISIJ International. - 2001. - 41, № 5. - С. 426-435. - Англ. - РЖ Металлургия, 02.03-15В.152.

Развита математическая модель процессов обезуглероживания ванны, восстановления оксидов железа и поведения шлака в дуговой печи при плавке стали с использованием металлизированного сырья

276. Моделирование выходной температуры отходящих газов и глубины шлаковой пены в электрической дуговой печи = Modelling of the off-gas exit temperature and slag foam depth of an electric arc furnace / Oosthuizen Daniel Jacobus, Viljoen Johannes Henning, Craig Ian Keith, Pistorius Petrus Christiaan // ISIJ International. - 2001, 41. - №4. - С. 399-401. - Англ. - РЖ Металлургия, 01.12-15В.42.

Рассмотрена математическая модель, позволяющая рассчитывать по ходу плавки т-ру отходящих газов и толщину шлаковой пены.

277. Моделирование процессов в дуговой печи = Modelling and simulation of an electric arc furnace process / Bekker Johnnes Gerhardt, Craig Ian Keith, Pistorius Petrus Christian // ISIJ International. - 1999. - 39, № 1. - С. 23-32. - Англ. - РЖ Металлургия, 00.06-15В.137.

На основании первого закона термодинамики и эмпирических соотношений разработана математическая модель сталеплавильного процесса в ДСП. Нелинейная модель включает алгебраические уравнения для определения: скорости плавления лома; скорости изменения массы жидкого Me; скорости обезуглероживания Me; скорости изменения концентрации Si; скорости изменения массы шлака; скорости изменения содержания FeO в шлаке; содержание CO, CO₂ и N₂ в газовой фазе; т-р лома, шлака и жидкого Me; прихода и расхода тепла в результате химических реакций и др. Изучение работы ДСП позволило установить начальные условия и провести компьютерное моделирование.

278. Оптимизация вдувания кислорода и твердых материалов методами физического и математического моделирования = Optimisation of the electric arc furnace lancing strategy by physical and numerical simulation / Boemer Andreas, Rodl Siquard // Steel Res. - 2000. - 71, № 6-7. - С. 197-203. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 01.03-15В.145.

Методами моделирования изучено влияние параметров фурм и их расположения на перемешивание ванны и вспенивание шлака в дуговой электроплавильной печи с одним катодом-электродом. Повышение интенсивности продувки шлака способствует лучшему перемешиванию Me и вспениванию шлака.

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА

279. Веревкин В.И. Математическое моделирование тепловых и гидродинамических процессов при продувке стали в ковше / В.И. Веревкин, С.Н. Калашников, С.М. Абрамович // Мат. и экон. модели в операт. упр. пр-вом. - 1997. - № 3. - С.24-27. - Рус. - РЖ Metallургия, 1998, 5В242.

Приведена постановка и схема решения задачи математического моделирования тепловых и гидродинамических процессов в сталеразливочном ковше при продувке расплава сверху.

280. Вихлевщук В.А. Численное моделирование процесса усвоения добавок порошковой проволоки и пруткового алюминия при внепечной обработке стали / В.А. Вихлевщук, В.Ю. Болотов, И.А. Павлюченков // Труды 6 Конгресса сталеплавильщиков, Череповец, 17-19 окт., 2000. - М.: ОАО "Черметинформация", 2001. - С.375-379. - РЖ Metallургия, 02.08-15В.140.

Одним их эффективных методов комплексной доводки плавки в ковше по химическому составу является ввод алюминиевой катанки и порошковых проволок с силикокальцием и углеродсодержащими материалами при помощи трайб-аппарата для корректировки содержания элементов в стали и модифицирования металла.

281. Воронин В.А. Исследование на математической модели процесса порционного вакуумирования низкоуглеродистой стали / В.А. Воронин // Современ. пробл. электрометаллургии стали: Тез. докл. 10 Междунар. конф., Челябинск, 1998. - Челябинск, 1998. - С.99-100. - РЖ Metallургия, 1999, 1В154.

Разработана математическая модель, учитывающая комплексное влияние таких факторов, как масса порции, засасываемая в вакуум-камеру, масса Me в ковше, химический состав Ст, остаточное давление в вакуум-камере, степень изношенности футеровки ковша, режим обработки и др. При разработке модели принято, что за время нахождения Me в вакуум-камере достигается равновесие между С и О растворенным в Me. Парциальное давление оксида углерода представлено как сумма барометрического давления в вакуум-камере и давления столба жидкого Me на подину камеры.

282. Воронин В.А. Математическая модель процесса порционного вакуумирования стали / В.А. Воронин, В.Н. Селиванов; Магнитог. гос. горно-металлург. акад. - Магнитогорск, 1998. - 31 с. - Библиогр.: 7 назв. - Деп. в ВИНТИ 10.03.98, № 668-В98. - РЖ Metallургия, 1998, 9В211 Деп.

283. Догман А.И. Разработка модели обезуглероживания стали в процессе поточного струйно-циркулиционного вакуумирования / А.И. Догман, В.И. Уманец // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1998. - № 11. - С. 13.

284. Долматов Н.В. Математическая модель перемешивания расплава

металла при питании индукционного вращателя полигармоническим напряжением / Н.В. Долматов, Л.В. Шумова // Автомат. упр. металлург. процессами / Магнитогор. гос. горно-металлург. акад. - Магнитогорск, 1996. - С. 38-41. - РЖ Металлургия, 1997, 12В281.

Приводится аналитическое описание новых способов электромагнитного перемешивания расплава металла, решается задача определения скоростей движения слоев расплава металла.

285. Использование математической модели для определения расхода силикокальция при внепечной обработке стали порошковой проволокой / В.В. Кисиленко, С.Е. Гринберг, В.М. Титиевский, В.П. Онищук // Сталь. - 1996. - № 4. - С. 32-33. - РЖ Металлургия, 1997, 3В169.

Разработана математическая модель, которая позволяет при внепечной обработке металла порошковой силикокальциевой проволокой вводить кальций в количестве, необходимом для образования жидких алюминатов и предотвращения выпадения твердых сульфидов кальция. Использование модели на металлургич. предприятиях в цехах при разливке стали на УНРС показало хорошие результаты

286. Исследование режимов внепечной обработки стали в ковше с использованием математических моделей / С.М. Абрамович, В.И. Веревкин, С.Н. Калашников, А.Ф. Штайгер; Препр. - Новокузнецк: Изд-во РАЕН, 1997. - РЖ Металлургия, 1999, 10В160К.

Разработана математическая модель конвективного теплообмена расплава в ковше при его внепечной обработке сверху как инертными газами, так и порошкообразными материалами. Проанализировано влияние параметров режима внепечной обработки стали на гидродинамические и тепловые поля в ковше с Me.

287. Кадиров М. К. Моделирование продувки жидкой стали в ковше под вакуумом инертным газом / М.К. Кадиров // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 9. - С. 20.

288. Кучаев А.А. Моделирование трехмерного электромагнитного поля в металлургическом агрегате ковш-печь. I. / А.А. Кучаев // Электронное моделирование. - 1998. - 20, № 6. - С.95-105. - РЖ Металлургия, 1999, 7В182.

Разработаны математические модели для расчета магнитного поля статора индукционного перемешивания и трехмерного электромагнитного поля в жидкой Ст установки ковш-печь.

289. Кучаев А.А. Численно-экспериментальный метод моделирования трехмерного нестационарного температурного поля в жидкой стали установки ковш-печь / Физ.-технол. ин-т металлов и сплавов НАН Украины. - Киев, 1998. - Библиогр.: 15 назв. - Деп. в ГНТБ Украины 13.07.98, № 326-Ук98. - РЖ Металлургия, 1999, 146 Деп.

290. Кучаев А.А. Численное исследование электромагнитного и теплового полей в установке ковш-печь. 1. Математическая модель / А.А. Кучаев // Промышленная теплотехника. - 2000. - 22, № 4. - С. 9-15. - РЖ Металлургия, 01.10-15Б.20.

Методом интегральных уравнений проведен расчет трехмерных электромагнитного и температурного полей в установке ковш-печь. Показано, что теплотенос в объеме стали описывается уравнением теплопроводности с эффективным коэффициентом теплопроводности. Последний учитывает молекулярный теплообмен и теплообмен вынужденной конвекции, созданный индукционным перемешивателем.

291. Магидсон И.А. Компьютерное моделирование десульфурации стали в ковше вдуванием шлаковых смесей / И.А. Магидсон, Н.А. Смирнов, М.Г. Разина // *Металлы*. - 1999. - № 2. - С.12-17. - РЖ *Металлургия*, 1999, 10В166.

На базе усовершенствованной кинетической модели рафинирования расплавов вдуванием шлаковых смесей через погруженную фурму и специальной прикладной программы выполнено компьютерное моделирование десульфурации Ст в 20-т ковше. Исследован характер зависимости S от времени обработки.

292. Магидсон И.А. Компьютерный анализ влияния технологических факторов на десульфурацию стали вдуванием шлаковых порошков / И.А. Магидсон, Н.А. Смирнов, М.Г. Разина // *Металлы*. - 2000. - № 2. - С. 8-14. - РЖ *Металлургия*, 00.10-15А.64.

По программе, основанной на математической модели рафинирования металлических расплавов шлаковыми порошками, рассчитана десульфурация Ст при вдувании в струе аргона различных оксифторидных смесей. Изучено влияние пяти основных технологических факторов на кинетические параметры, определяющие эффективность обработки: начальной t -ры, массы вдуваемого порошка, давления и объема газа-носителя и относительной глубины погружения фурмы.

293. Математическая модель поведения примесей при продувке металла окислительным газом / А.В. Гуляев, С.В. Коминов, Б.Н. Огороков, С.С. Бакума // *Изв. вузов. Чер. металлургия*. - 2000. - № 9. - С.21-23.

294. Математическое моделирование трехмерной задачи движения алюминиевой и порошковой проволок с учетом процесса их плавления и усреднения при донной продувке металла аргоном / В.А. Вихлевщук, В.Ю. Болотов, И.А. Павлю-ченков, Г.Н. Черномаз // *Теория и практика металлургии*. - 2000. - № 3. - С.46-50. - РЖ *Металлургия*, 01.04-15В.161.

Исследованы трехмерные траектории движения алюминиевой и порошковой проволок в наполненном сталеразливочном ковше в процессе донной гомогенизирующей продувки металла аргоном. Рассчитаны продолжительности плавления проволок.

295. Моделирование процесса вакуумно-кислородного обезуглероживания коррозионно-стойких сталей / Д. Ю. Адельшин, А.В. Гуляев, Ф.Ф. Валеев, Г.И. Морозов // *Сталь*. - 2000. - № 4. - С.34-37.

Для управления процессом ВКО разработана математическая модель, металлургическая часть которой включает все наиболее важные процессы, происходящие в Ме во время обработки.

296. Моделирование тепловой работы футеровки металлургических ков-

шей / В.С. Стариков, М.В. Темлянцев, Е.Н. Темлянцева, А.Ю. Коробкин // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2002. - № 10. – С. 55-56.

297. Никулин А.Ю. Взаимодействие кальцийсодержащей порошковой проволоки с жидким металлом при внепечной обработке стали / А.Ю. Никулин // Современ. пробл. электрометаллургии: Тез. докл. 9 Междунар. конф., Челябинск, 1995. - Челябинск, 1995. - С.52-53. - Рус. - РЖ Металлургия, 1996, 3В205.

Для решения задачи были установлены 6 начальных и 9 граничных условий, учитывающих температуры фазовых переходов, t -ры начала взаимодействия кальция с кислородом и азотом газовой фазы, находящейся внутри оболочки, а также t -ру начала взаимодействия кремния со стальной оболочкой внутри проволоки.

298. Никулин А.Ю. Разработка математической модели взаимодействия магнийсодержащей порошковой проволоки жидким металлом при внепечной десульфурации чугуна / А.Ю. Никулин // Рос. межвуз. науч.-техн. конф. "Фундамент. пробл. металлургии", Екатеринбург, 1995. - Екатеринбург, 1995. - С.6. - Рус. - РЖ Металлургия, 1996, 1А59.

Разработана математическая модель кинетики растворов магнийсодержащей порошковой проволоки в жидком чугуне с учетом физико-химических и теплофизических особенностей процесса, которая применима для разработки технологии внепечной десульфурации передельного чугуна в ковше.

299. Охотский В.Б. Модель удаления водорода при вакуумно-дегазирующей обработке / В.Б. Охотский // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1998. - № 4. - С.17-19. - РЖ Металлургия, 1999, 10В162.

300. Полозюк О.Е. Математическое моделирование процессов коагуляции неметаллических включений при внепечной обработке стали / О.Е. Полозюк // Процессы литья. - 2001. - №3. - С.12-15. - Рус.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 02.03-15В.172.

Разработана математическая модель коагуляции и удаления неметаллических включений в процессе продувки инертным газом, позволяющая определить ожидаемую степень рафинирования стали в зависимости от интенсивности и условий продувки.

301. Рашников В.Ф. Математическое моделирование взаимодействия жидкой стали и порошковой проволоки с тугоплавкими реагентами / В.Ф. Рашников, Б.А. Никифоров, А.Ю. Никулин // Прогресс. технол. процессы в обраб. мет. давлением / Магнитог. гос. горно-металлург. акад. – Магнитогорск, 1997. – С. 32-34. - РЖ Металлургия, 1998, 9В214.

К тугоплавким реагентам отнесены порошки углерода, титана, бора и др., применяемые для науглероживания, легирования и модифицирования стали. Для порошковой проволоки с тугоплавким реагентом, имеющим низкую теплопроводность, решение проблемы наиболее полного усвоения реагента сводится к решению задачи увеличения времени плавления оболочки.

302. Смирнов Н.А. Компьютерное моделирование процесса десульфурации стали в ковше обработкой шлаковыми смесями / Н.А. Смирнов, И.А. Магидсон, М.Г. Разина // Современ. пробл. электрометаллургии: Тез. докл. 9 Между-

нар. конф., Челябинск, 1995. - Челябинск, 1995. - С.58-59. - РЖ Металлургия, 1996, 2В 248 .

Разработана прикладная программа для IBM - совместимых ПЭВМ для расчета кинетики и оценки эффективности удаления серы из металла. Программа позволяет: а) исследовать процесс удаления серы из металла; б) определить влияние технологических факторов на кинетические параметры процесса десульфурации; в) прогнозировать оптимальные режимы обработки металла шлаковыми смесями с учетом состава и массы порошков, интенсивности их вдувания, глубины погружения фурмы в металл и т.д. Путем компьютерного моделирования изучено влияние основных технологических факторов на кинетические параметры процесса десульфурации стали, включающие: средний размер шлаковых капель и время контакта их с металлом; относительные скорости эмульгирования и всплывания шлака; интегральный коэффициент массопереноса серы из металла в шлак; диффузионное число Фурье и т.д.

303. Харламов Д.А. Исследование с помощью математической модели теплового состояния агрегата ковшпечь при внепечной обработке металла / Д.А. Харламов, Э.Э. Меркер, А.И. Кочетов // Электрометаллургия. - 2002. - № 5. - С. 28-31.

304. Чичкарев Е.А. Моделирование распределения алюминия в объеме сталеразливочного ковша при внепечной обработке / Е.А. Чичкарев, Т.П. Пославская, А.И. Троцан // Процессы литья. - 2001. - №3. - С.20-23. - Рус.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 02.03-15В.173.

Разработана математическая модель распределения алюминия по объему сталеразливочного ковша при вводе его штангой, крупным слитком или чушками. Оценены параметры зависимостей, связывающие коэффициенты турбулентной диффузии, а также объемный коэффициент массопередачи для системы металл-шлак с удельной мощностью перемешивания ванны при продувке инертным газом применительно к условиям внепечной обработки на УДМ.

305. Анализ размерностей и явление пузырькового перемешивания в ковшах / Mandal Kamales, Mazumdar Dipak // ISIJ International.-1998. - 38, № 10. - С.1150-1152. - Англ. - РЖ Металлургия, 1999, 5В158.

Предметом исследований выбран процесс CAS, осуществляемый фирмой NSC (Япония) в ковшах, оснащенных пористой фурмой в днище с установкой в зоне оголения зеркала Me от шлака огнеупорного кольца. Для проверки корректности математической модели перемешивания провели анализ размерностей всех величин, входящих в уравнения, представленные в критериальной форме.

306. Двухмерная математическая модель двухфазной зоны в сталеразливочном ковше при донной продувке / Deng Anyuan, Peng Yichuan // Zhongguo youse jinchi xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. - 1997. - 7, № 1. - Suppl. - С.74-77. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1997, 11 В234.

Представлена двухмерная модель рейнольдсовских напряжений сдвига в потоке струи газа, вдуваемого в жидкий Me через фурму в днище ковша. Модель позволяет оценить величину и распределение скоростей, диаметр струи, объемную долю газа и степень проникновения двухфазного потока в различных поперечных сечениях.

307. Динамическое моделирование процесса вакуумной циркуляции при обезуглероживании стали = *Dynamic modelling of vacuum circulation process for steel decarburization* / B. Klei, S. Kohle // *Rev. met. (Fr.)*. - 1995. - 92, № 4. - С.493-502, XIXII. - Англ.; рез. фр., нем., исп. - РЖ Металлургия, 1996, 4В235.

Разработана математическая модель процесса циркуляции жидкой Ст, учитывающая динамику реакции обезуглероживания, представленной дифференциальным уравнением первого порядка, характерным для соотношений термодинамики необратимых процессов. Скорость обезуглероживания Ст в этом случае пропорциональна величине отклонения текущего содержания углерода от равновесного.

308. Динамическое моделирование процесса вакуумной циркуляции при обезуглероживании стали = *Dynamisches Modell für den Vakuum-Umlauf-Prozess für Entkohlung von Stahlschmelzen* / Kleimf Bernd, Kohle Siegfried // *Stahl und Eisen*. - 1995. - 115, № 8. - С.75-81, 140. - Нем.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1996, 5В208.

Разработана математическая модель процесса циркуляции жидкой стали, учитывающая динамику реакции обезуглероживания, представленной дифференциальным уравнением первого порядка, характерным для соотношения термодинамики необратимых процессов.

309. Математическая модель вакуумной камеры многофункционального дегазатора RH = *A mathematical model on vacuum chamber of a multifunctional RH-degasser* / Chen Yisheng, He Youduo, Cang Daqiang, Huang Zongze // *J. Univ. Sci. and Techn. Beijing*. - 2001. - 8, № 4. - С. 259-263. - РЖ Металлургия, 02.09-15В.184.

Разработана математическая модель для трехмерного воспроизведения газов, процессов горения и конвективной теплопередачи в вакуумной камере дегазатора. С помощью модели было проанализировано влияние различных скоростей и температур, на протекание химических реакций. Установлено оптимальное положение продувочной фурмы.

310. Математическая модель и эксперименты по вдуванию реакционных порошков в ванну сталеразливочного ковша = *Mathematical model and experiments on reactive powders injection into a metal bath in a pouring ladle* / M. Nicolae, A. Semenescu, C. Mihailescu // *ISIJ International*. - 1996. - 36, Suppl. - С.S.66 - S.68. - РЖ Металлургия, 1997, 8А78.

Изучены на математической модели физические и химические процессы при вдувании реакционных порошков в токе Ar в расплавленную ванну Ст. Проведены эксперименты по вдуванию $CaSi$ с расходом 0,2 кг/мин в 65-т ковш со Ст в течение 10 мин в токе Ar (с расходом 0,012 м³/мин) на глубину 2000 мм.

311. Математическая модель нагрева электромагнитного перемешивания

в ковше-печи "А" = Heating and electromagnetic stirring in a ladle furnace: A simulation model / Alexis Jonas, Jonsson Lage // ISIJ International. - 2000. - 40, № 11. - С. 1098-1104. - Англ. - РЖ Металлургия, 01.09-15В.165.

Разработана трехмерная математическая модель нагрева и индуктивного перемешивания металла в агрегате типа печь-ковш. Перенос тепла от дуг к жидкой стали определен на отдельной модели с учетом граничных условий в объеме ковша. Расчеты вариаций изменения температурного поля в ковше моделировали для случая нагрева металла дугой при одновременном перемешивании электромагнитным полем индуктора.

312. Математическая модель процесса обезуглероживания и десорбции азота в вакууматоре = Mathematical model for nitrogen desorption and decarburization reaction in vacuum degasser / T. Kitamura, K. Miyamoto, R. Tsujino и др. // ISIJ International - 1996. - 36, № 4. - С.395-401. - Англ. - РЖ Металлургия, 1997, 1В164.

Разработана и реализована в виде компьютерной программы математическая модель, описывающая поведение азота, углерода и кислорода при вакуум-кислородной обработке простой и нержавеющей Ст в VOD-конвертере.

313. Математическая модель состояния и развития процесса циркуляционной дегазации RH / Fan Jian -feng, Wang Jian-jin // Anhui gongye dahue xuebao = J. Anhui Univ. Technol. - 2002. - 19, № 1. - С.29-33. - РЖ Металлургия, 02.09-15В.187.

Приведено математическое описание, структура модели и направления дальнейшего развития

314. Математическая модель управления процессом внепечного рафинирования на заводе Kwangyang, Posco = The mathematical model for secondary refining process carried out at Kwangyang works, Posco / S.B. Ahn, J.M. Park, G. Shin и др. // 78th Steelmak. Conf. Proc., Nashville, Tenn., Apr. 2-5, 1999. - Proc. Vol. 78. - Warrendale (Pa), 1999. - С.579-587. - Англ. - РЖ Металлургия, 1996, 8В275.

315. Математические модели и их экспериментальная верификация в промышленных процессах обезуглероживания жидких нержавеющей сталей = Mathematical models and experimental verification in the decarburization of industrial scale stainless steel melts / J. Reichel, J. Szekely // Iron and Steelmaker. - 1995. - 22, № 5. - С.41-45. - Англ. - РЖ Металлургия, 1996, 8В237.

Представленное математическое описание процессов вакуумно-кислородного и аргоно-кислородного обезуглероживания жидких сталей включает дифференциальное уравнение нулевого порядка, отображающее первую фазу процесса, протекающего с постоянной скоростью независимо от содержания С в расплаве, дифференциальное уравнение первого порядка, аппроксимирующее кинетику обезуглероживания во второй фазе, наконец, уравнение кинетики в критической точке, соответствующей переходу от постоянной скорости углероживания к убывающей.

316. Математическое и физическое моделирование гидродинамики и перемешивания при продувке металла аргоном через несколько фурм в днище ковша / Zho Miaoyong, Inomoto Takeo, Xiao Zeqiang // Jinsu xuebao = Acta met.

sin. - 1995. - 31, № 10. - В 435-В439. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1996, 6В202.

317. Математическое моделирование процесса циркуляционного вакуумирования / Ou Tie, Liu Jiangong, Zhang Jieyu и др. // Jinsu хuebao = Acta met. sin. - 1999. - 35, № 4. - С.411-415. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 1999, 10В169.

Проведено исследование процесса циркуляционного вакуумирования с точки зрения термодинамики и явлений теплообмена. Исследование направленного циркуляционного потока выполнено с использованием математических моделей.

318. Моделирование условий течения вблизи поверхности раздела шлак / металл при перемешивании металла в ковше газом = Modelling of fluid flow conditions agound the slag / metal interface in a gas-stirred ladle / L.I. Jonsson , P. Jönsson // ISIJ Int. – 1996. – 36, № 9. – С. 1127-1134. – Англ. - РЖ Metallургия, 1997, 4В111.

319. Моделирование циркуляционных потоков в вакууматоре RH на водяной модели вакууматоров с двумя и многими каналами / Fan Shichuan, Li Baokuan, He Jicheng // Jinsu хuebao = Acta met. sin. -2001. - 37, № 10. - С.1100-1106. - РЖ Metallургия, 02.08-15В.139.

Разработана математическая модель циркуляционных потоков в вакууматоре с тремя и многими каналами, в которой разность плотностей чистой жидкости и газо-жидкостной смеси рассматривались как движущая сила рециркуляции

320. Ориентированное на производство моделирование процессов обработки металла в ковше = Betriebsorientiere Prozessimulation fur die Pfannenmetallurgie / Rodl Sigurd // Stahl und Eisen. - 1995. - 115, № 5. - С. 97-100. - Нем. - РЖ Metallургия, 1995, 9В161.

Численное моделирование вносит существенный вклад в улучшение процесса внепечной обработки стали, поскольку позволяет детально исследовать особенности тепло- и массопереноса в ходе продувки и подогрева жидкого металла в ковше, а также изменение условий теплоотвода через футеровку стен и днища ковша.

321. Оценка процедуры двухфазного численного расчета для гидродинамического моделирования продувки в ковшах = An assessment of a fwo phase calculation procedure for hydrodynamic modelling of submerged gas injection in ladles / Mazumdar Dipak, Guthrie Roderick // ISIJ International. - 1995. - 34, № 5. - С.384-392. - Англ. - РЖ Metallургия, 1995, 4В213.

Для математического моделирования продувки Me в ковше использовали комбинированный подход (Лагранж-Эйлер). Для описания движения газа в виде стационарных траекторий пузырьков применяли лагранжев подход. Движение жидкой фазы с учетом турбулентности описывали в рамках схемы Эйлера. Решение полученных уравнений выполнили с помощью численной итерационной процедуры, включающей известный алгоритм SIMPLE.

322. Прогнозирование температуры в ковшевой металлургии: математи-

ческое моделирование движения жидкости и теплопередачи в ковше с продувкой газом = Prediction of temperature in secondary steelmaking: mathematical modelling of fluid flow and heat transfer in gas purged ladle / Mukhopadhyay Aniruddha, Deb Prashanta, Ghosh Ahindra, Basu Biswajit // Steel Res. - 2001. - 72, № 5-6. - С.192-199. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 02.04-15В.22.

Разработана математическая модель движения расплавленной стали и теплопередачи в ковше-печи с продувкой газом. Двумерная модель движения жидкости построена на основе уравнений Навье-Стокса при средних значениях числа Рейнольдса. Модель теплопередачи составлена для сопряженной области - расплавленный металл+огнеупорная футеровка+стальной кожух.

323. Физическое и математическое моделирование систем газового перемешивания в ковшах = The Physical and mathematical modelling of gas stirred ladle systems / Mazumdar Dipak, Roderick I. L. Guthrie // ISIJ International. - 1995. - 35, № 1. - С.1-20. - Англ. - РЖ Металлургия, 1995, 9В160.

Представлен обзор и обсуждение работ, в которых излагаются результаты физического и математического моделирования продувочных операций в ковшах.

324. Численный расчет по двумерной модели двухфазной зоны в сталеразливочном ковше при донной продувке / Deng Anyuan, Peng Yichuan // Zhongguo youse jinchi xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. - 1997. - 7, № 1, Suppl. - С.78-81. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1997, 11В235.

Численные расчеты показали, что теоретические предпосылки определения объемной доли газа по принятой модели хорошо согласуются с экспериментальными данными. Скорость газового потока растет при повышении расхода газа. Поведение газометаллического потока в условиях продувки в ковше через донные фурмы хорошо представляет математическая модель.

РАЗЛИВКА СТАЛИ В ИЗЛОЖНИЦЫ

325. Дуб В.С. Математическая модель затвердевания стальных слитков / В.С. Дуб, И.И. Макаров, Е.В. Макарычева // Тр. 3 Конгр. сталеплавильщиков, Москва, 10-15 апреля, 1995. - М., 1996. - С.377-378. - РЖ Металлургия, 1996, 10В287.

326. Казачков Е.А. Математические модели ликвации примесей при затвердевании стальных слитков / Е.А. Казачков // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та. - 1999. - № 7. - С. 143-154. - РЖ Металлургия, 00.02-15В.209.

Рассмотрены различные математические модели ликвации примесей в процессе затвердевания стальных слитков. Проанализированы: модель ликвации примеси в условиях плоского фронтального затвердевания, статистическая модель химической неоднородности крупных стальных слитков, условия вымывания примесей из междендритных участков, модель микроликвации примесей в условиях дендритного роста, модель образования отрицательной ликвации в донной части слитка.

327. Казачков Е.А. Математические модели ликвации примесей при за-

твердевании стальных слитков / Е.А. Казачков // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та. - 1999. - № 7. - С.143-154. - РЖ Metallургия, 00.02-15В.209.

Рассмотрены различные математические модели ликвации примесей в процессе затвердевания стальных слитков. Проанализированы: модель ликвации примеси в условиях плоского фронта затвердевания, статистическая модель химической неоднородности крупных стальных слитков, модель микроликвации примесей в условиях дендритного роста.

328. Кувалдин А.Б. Математическое моделирование регулируемого охлаждения изделий прямоугольного сечения с использованием индукционного нагрева при ограничениях на термонапряжения / А.Б. Кувалдин, А.Р. Лепешкин // Электрометаллургия. - 2003. - № 1. - С. 13-20.

329. Кулик А.Д. Математическая модель температурного состояния шибберного затвора / А.Д. Кулик, А.П. Огурцов, О.А. Жульковский // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 4. - С.12-15. - РЖ Metallургия, 1999, 12В187.

Неявная разностная схема расчета пространственного температурного поля конструкции получена в прямоугольной декартовой системе координат интегро-интерполяционным методом. Для решения нелинейной задачи теплопроводности применена локально-одномерная схема.

330. Макуров С.Л. Оптимизация технологии производства крупных стальных слитков / С.Л. Макуров // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та. - 1999. - № 7. - С. 165-175. - РЖ Metallургия, 00.03-15В.188.

Путем компьютерного моделирования и экспериментальными методами изучены теплофизические и гидродинамические условия разливки и затвердевания листовых слитков массой 10-30 т.

331. Математическое моделирование макроскопических параметров затвердевания непрерывных слитков / О.С. Логунова, Д.Х. Девятов, И.М. Ячиков, А.А. Кирпичев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 2. - С.49-51. - РЖ Metallургия, 1997, 8В122.

Приведена математическая модель непрерывного затвердевающего слитка с применением квазиравновесной теории двухфазной зоны. Разработаны алгоритм и вычислительная программа для исследования поведения полей температур внутри слитка и на его поверхности.

332. Математическое описание кристаллизации полуспокойной стали в системе Fe-C-O-Mn-Si-S-P / В.Н. Селиванов, А.М. Столяров, Б.А. Буданов, А.И. Кадигроб // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 9. - С.19-22. - РЖ Metallургия, 1998, 8В218.

Дается обобщенное математическое описание кристаллизации полуспокойной стали в системе Fe-C-O-Mn-Si-S-P. Для разработки описания произведена декомпозиция этой многокомпонентной системы на четыре подсистемы. При этом удастся составить систему уравнений, описывающих изменения, происходящие в подсистемах при увеличении массы затвердевшего металла.

333. Моделирование кристаллизации слитка с учетом гидродинамики жидко-твердой зоны / А.П. Огурцов, С.Е. Самохвалов, В.А. Чернета, В.В. Демьянович // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 3. - С.9-12. - РЖ Metallур-

гия, 1995, 10В200.

Представлена численная модель описания кристаллизации с учетом конвективного движения жидкотвердой зоны. Гидродинамика 2-фазной зоны описывается в односкоростном приближении с точностью до первого порядка по коэффициенту усадки. При численном решении полученных уравнений используется метод расщепления по физическим факторам.

334. Моделирование процесса формирования конуса осаждения неметаллических включений в крупных стальных слитках / А.С. Нурадинов, А.С. Эльдарханов, В.А. Ефимов, Е.Д. Таранов // Сталь. - 2001. - № 10. - С.21-22.

335. Нгием Тхи Туи Создание системы математических моделей для исследования образования неметаллических включений по ходу затвердевания стали / Нгием Тхи Туи, А.В. Дуб, А.Ф. Вишкарев // Междунар. конф.-диспут "Металлургия и металлурги 21 века", посвящ. 90-летию со дня рождения В.И. Явойского, Москва, 27-30 нояб., 2000: Сб. тр. - М.: Изд-во МИСиС, 2001. - С. 446-453. - РЖ Metallургия, 02.03-15В.223.

Создана система математических моделей для исследования процессов образования неметаллических включений по ходу затвердевания стали.

336. Недопекин Ф.В. Математическое моделирование разливки стали с учетом газозахвата / Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов, О.В. Ховайло // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 3. - С.12-14. - РЖ Metallургия, 1995, 10В175.

Сформулированы математическая модель и вычислительный алгоритм гидродинамики и теплофизики при разливке стали сверху с учетом инжекции воздуха. Выбранный в качестве реализации двухполевой метод более предпочтителен для решения плоских задач, чем метод расщепления по физическим факторам.

337. Недопекин Ф.В. Моделирование гидродинамики, теплопереноса и газозахвата при разливке стали сверху / Ф.В. Недопекин, В.В. Белоусов // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1995. - № 2. - С. 7-10. - РЖ Metallургия, 1995, 12В229.

Сформулирована математическая модель гидродинамики и теплопереноса в газожидкостной среде применительно к условиям разливки стали сверху с учетом влияния газозахвата струей металла на процесс наполнения изложницы.

338. Соколов В.М. Математическое моделирование реакции обезуглероживания в затвердевающей стали / В.М. Соколов, И.В. Федоренко, Е.А. Жидков // Процессы литья. - 1995. - № 3. - С.101-105. - РЖ Metallургия, 1996, 5А89.

Проанализированы модели, описывающие ликвационные явления в затвердевающем Me. С их помощью произведены термодинамические расчеты взаимодействия углерода с кислородом для слитка кипящей Ст.

339. Сущенко А.В. Математическое моделирование процессов сушки и разогрева футеровки сталеразливочного ковша / А.В. Сущенко, А.И. Травинчев, А.С. Безчерев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 2002. - № 5. - С. 42-45. - РЖ Metallургия, 02.10-15В.192.

Разработана функционально-детерминированная математическая модель процессов сушки и разогрева футеровки сталеразливочного ковша.

340. Тяжелников А.Ю. Использование математического и 3D-моделирования для исследования конструкции промковша / А.Ю. Тяжелников // Теплотехника и теплоэнергетика в металлургии: Сб. науч. тр. - Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 1999. - С. 65-70. - РЖ Металлургия, 02.04-15Б.15.

341. Улучшение технологии непрерывной разливки крупных заготовок на основе результатов математического моделирования / Д. Труафонтен, Ф. Белланже, Ф. Виммер, М. Штифтингер // Сталь. - 2001. - № 10. - С.22-26.

342. Черепанов А.Н. Моделирование динамики тепловых процессов в изложнице и затвердевающих слитках металла / А.Н. Черепанов, В.Н. Попов, В.Н. Черепанова // Металлы. - 1998. - № 6. - С.32-36. - РЖ Металлургия, 1999, 7В204.

Приведены результаты компьютерного моделирования нестационарных теплофизических процессов в многоканальной чугуновой изложнице при затвердевании в ней цилиндрических слитков. На основе сформулированной математической модели разработаны численный алгоритм и программа для решения трехмерной нестационарной задачи. Исследована динамика изменения температурных полей в системе изложница-слитки.

343. Яковлев Ю.Н. Исследование газовыделения в слитке кипящей стали на математической модели / Ю.Н. Яковлев, Л.В. Камкина // Процессы литья. - 1995. - № 1. - С.105-107. - РЖ Металлургия, 1995, 10В231.

Сформулирована математическая модель переноса кислорода и углерода в слитке кипящей стали с учетом скорости реакции углерода с кислородом и эффективной диффузии элементов в жидком металле в зависимости от скорости выгорания.

344. Анализ математической модели роста корочки слитка в начале затвердевания / Mizoquchi Toshiaki, Ogibayashi Shigeaki, Kajitani Toshiyuki // Tetsu to hagane = J. Iron and Steel Inst. Jap. - 1995. - 81, № 10. - С. 971-976. - РЖ Металлургия, 1996, 6В296.

Приведена количественная оценка неравномерности роста корочки затвердевающего Ме в поперечном сечении с учетом распределения т-ры, термических напряжений и деформаций в корочке с использованием математической модели.

345. Тепловое моделирование разливочных ковшей: высоко-глиноземистые, доломитовые, магнезитовые и магнезитографитовые огнеупоры = Thermal modeling of casting ladles:high-alumina, dolomite, magnesite and magnesia-graphite retractorries / A. Gaston, M. Medina // Iron and Steelmaker. - 1996. - 23, № 1. - С. 29-35. - Англ. - РЖ Металлургия, 1997, 1В177.

Приведена математическая модель и проведено компьютерное моделирование тепловой работы сталеразливочных ковшей. Рассматривались футеровки из высокоглиноземистых, доломитовых, магнезитовых и магнезитографитовых

огнеупоров. Рассчитывалось распределение т-р в футеровке в процессе разогрева ковшей, выдержки и разливки Me, а также т-ра Me в процессе выдержки и разливки для различных типов футеровки в зависимости от числа различных плавок.

346. Трехмерное компьютерное моделирование затвердевания слитков / Zhang Yin, He Youduo, Li Baowei и др. // Zhongguo youse jinchu xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. - 1997. - 7, № 1. - С. 51-54. - Кит.; рез. англ. – РЖ Metallургия, 1997, 11В.259.

Предложено программное обеспечение, отражающее нестационарные стадии процесса затвердевания слитков на основе метода конечных элементов

347. Физическое и математическое моделирование явлений термического расслоения в сталеразливочных ковшах = Physikal and mathematical modelling of thermal stratification phenomena in steel ladles / Pan Yuhua, Bo. Bjork-man // ISIJ International. – 2002, 42. - № 6. – С. 614-623. – Англ. - РЖ Metallургия, 03.05-15В.236.

С привлечением математической модели динамики потоков в ковше выявлены особенности термического расслоения в жидкой фазе в объеме ковша и теплопередачи в условиях выдержки ковша перед разливкой.

НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА СТАЛИ

348. Девятков Д.Х. Определение коэффициентов теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ с помощью идентифицирующей математической модели / Д.Х. Девятков, И.И. Пантелеев // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1999. - № 8. - С.62-65. - РЖ Metallургия, 00.05-15В.171.

Использование распределения коэффициента теплоотдачи в виде кусочно-непрерывной функции и использование программы, разработанной в ходе выполнения работы, позволяет получить материал, необходимый для разрешения проблемы размещения охлаждающих элементов в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ.

349. Компьютерное моделирование формирования структуры металла на совмещенных литейно-прокатных агрегатах / Г. Цоухар, Р. Кост, Р. Блезнер и др. // Черные металлы. – 1995. - № 6. –С. 8-11.

350. Кравцов В.В. Описание разработанной математической модели кристаллизации непрерывнолитой тонкой цилиндрической заготовки / В.В. Кравцов, А.П. Каланчук // Теория и практика металлургии. - 1999. - № 5. - С. 37-38. – РЖ Metallургия, 00.09-15В.195.

В статье представлена новая математическая модель. Рассмотрены основные теплофизические параметры непрерывной разливки, обеспечивающие мелкозернистую структуру Me и экономию энергозатрат.

351. Ноздрин А.А. Математическая модель тепловой работы кристаллизатора УНРС с учетом шлаковой прослойки / А.А. Ноздрин, А.В. Павлов, В.А. Григорян // Изв. вузов. Чер. металлургия. - 1997. - № 5. - С. 77. - РЖ Metallургия, 1998, 3В224.

Для определения оптимальных параметров шлакообразующих смесей, необходимых для успешной разливки стали, разработана математическая модель кристаллизатора УНРС с учетом наличия шлаковой прослойки между оболочкой слитка и рабочей поверхностью кристаллизатора.

352. Огурцов А.П. К вопросу математического моделирования сегрегации примесей при кристаллизации непрерывнолитых заготовок / А.П. Огурцов, А.В. Гресс // Теория и практика металлургии. – 1999. - № 1. – С. 12-17. – РЖ Металлургия, 1999, 11В229.

353. Огурцов А.П. Численная модель ликвации примесей при непрерывной разливке стали / А.П. Огурцов, А.В. Гресс // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2001. - № 10. – С. 45-50.

354. Рудой Л.С. Математическая модель тепломассообменных процессов при затвердевании непрерывного слитка // Л.С. Рудой, И.Б. Лисянский // Теория и практ. металлургии. – 1999. - № 5. – С. 31-32. – РЖ Металлургия, 00.09-15В.194.

355. Цифровое моделирование процессов течения и затвердевания металла в МНЛЗ для литья тонких слябов / К. Олер, Х.-Ю. Оденталь, Г. Пфайфер, И. Леманович // Черные металлы. 2002. - №8. – С. 22-30.

Анализ течения металла в кристаллизаторе и воздействие на него оптимизированной геометрии погружного сталеразливочного стакана можно провести с помощью лабораторных исследований или методом цифрового математического моделирования. В настоящей статье рассмотрены расчеты по методам CFD для стационарного течения воды и стали в погружном стакане и кристаллизаторе машины непрерывного литья тонких слябов на основе уравнений движения по Рейнольдсу.

356. Шестаков Н.И. Математическое моделирование температурного поля непрерывного слитка // Н.И. Шестаков, Н.В. Запатрина, Н.Н. Сеницына // Процессы литья. – 1995. - № 1. – С. 101-104. – РЖ Металлургия, 1995, 10В187.

357. Анализ методом конечных элементов напряжений и растяжений корочки затвердевающего в кристаллизаторе металла при непрерывной отливке тонких слябов / Wen Guanghua , Yan Bo, He Junfan и др. // Zhongguo youse jinchi xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. - 1997. - 7, № 1, Suppl. - С.87-91. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1997, 11В254.

Разработана трехмерная модель упруго-пластической деформации элементов конечных размеров для случая напряженного состояния затвердевшей корочки, вытягиваемой из кристаллизатора для отливки тонких слябов на ранних стадиях развития процесса кристаллизации. С использованием этой модели проведены расчеты толщины затвердевшей корочки и распределение т-р по ее сечению, напряжения, усилия вытягивания и особенности профиля корочки при использовании двух видов кристаллизаторов.

358. Изучение на математической модели микросегрегации в непрерыв-

нолитых слябах / Han Zhiqiang, Cai Kaike // Jinsu xuebao = Acta met. sin. - 2000. - 36, № 8. - С. 869-873. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 01.03-15В.199.

Микросегрегация, приводящая к появлению внутренних трещин в непрерывнолитых слябах была исследована на математической модели при сопоставлении межфазного превращения феррита в аустенит в ходе затвердевания с выделением MnS. Выявлено влияние C, Mn, S и P на междендритную сегрегацию или т-рах нулевой пластичности и хрупкости.

359. Использование математической модели для характеристики межфазных эффектов между металлом и кристаллизатором при разливке = The implementation of a mathematical model to characterize metal metal interface effects in metal casting / Trovant Michael, Stavros A. Argyropoulos // Can. Met. Quart. - 1998. - 37, № 3-4. - С.185-196. - Англ. ; рез. фр. - РЖ Metallургия, 00.03-15В.203.

Образование воздушного зазора между поверхностью стенок кристаллизатора и корочкой формируемого слитка существенно сказывается на интенсивности теплообмена и местной скорости охлаждения. Предложена новая методика определения начальных и граничных условий, позволяющая минимизировать ошибки на основе данных лабораторных экспериментов.

360. Математическая модель для описания непрерывной разливки стали = Mathematical model for describing the continuous casting of steel / Mihailov Emil, Petkov Venko, Totev Georgy // J. Mater. Sci. and Technol. - 1994. - 2, № 3. - С. 38-46. - Англ. - РЖ Metallургия, 1996, 1В221.

Исследовательским ин-том Болгарской академии наук разработана математическая модель процесса затвердевания формируемых в процессе разливки слябов, основанная на использовании метода конечных разностей и уравнений кинетики кристаллизационных явлений. Массообмен в ходе затвердевания представляли соотношениями завершенной диффузии в жидком и незавершенной обратной диффузии в твердом состоянии.

361. Математическая модель мгновенных скоростей жидкости в кристаллизаторе установки непрерывной разливки = Mathematical model for transient fluid flow in a continuous casting mold / Takatani Kouji, Tanizawa Yoshnori, Mizukami Hideo, Nishimura Kenzi // ISIJ International. - 2001. - 41, № 10. - С. 1252-1261. - РЖ Metallургия, 02.06-15В.23.

Разработана математическая модель для воспроизведения жидкой стали в кристаллизаторе установки непрерывной разливки. В модели учитывается взаимодействие трех фаз: аргона, вдуваемого в погружное разливочное сопло; расплавленной стали и затвердевшей корочки.

362. Математическая модель начала затвердевания при непрерывной разливке = Mathematical modeling of initial solidification in continuous casting / S. Ogibayashi // Acta Met. Sin. - 1999. - 12, № 4. - С.297-303. - Англ. - РЖ Metallургия, 00.03-15В.221.

Представлен обзор достижений в разработке математических моделей, позволяющих предсказывать появление продольных толщин и нерегулярностей в толщине колонки непрерывноотливаемого слитка. Ряд моделей достаточно

полно отражает сущность наблюдаемых на практике явлений, однако для надежности прогнозирования и предотвращения образования трещин существующие модели

требуют пересмотра и существенного усовершенствования.

363. Математическая модель оптимизации параметров системы роликовой проводки УНРС и ее применение / Liu Weijian, Kan Shulin // Shanghai jinshu = Sanghai Metals. - 1995. - № 2. - С.32-37. - Кит., рез. англ. - РЖ Металлургия, 1995, 6В343.

Обсуждены проблемы проектирования роликовой проводки УНРС и предложена математическая модель, рассчитанная на поиск оптимальных решений поставленной задачи.

364. Математическая модель осевой макросегрегации в непрерывнолитых стальных слябах = A mathematical model of centerline macrosegregation in a continuously cast steel slab / Zoran D. Odanoviic, Ljubomir B. Nedeljkovic, Mile B. Djurdjevic // J. Serb. Chem. Soc. - 1995. - 60, № 7. - С. 611-624. - Англ. - РЖ Металлургия, 1996, 1В.207.

365. Математическая модель процесса непрерывной отливки заготовок почти заданного сечения = Mathematical models for near net shape casting process / Pedro Q. Netto, Roberto P. Tavares, Roderick I.L. Guthrie; Перевод с английского Н. Перевалова // ISIJ International. - 1996. - 36, Suppl. - С.175-178. - Англ. - РЖ Металлургия, 1997, 8В.118.

Разработана 3-мерная математическая модель процесса двухроликовой разливки, охватывающая турбулизацию потоков

366. Математическая модель (Fuzzy) температуры поверхности литых заготовок, формируемых на УНРС / Ye Yuan, Zhao Lei, Li Tianshi // Zhongguo zhuzao zhuangbei yu jishu = China Foundry Mach. and Technol. - 1999. - № 1. - С. 29-31. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1999, 10В203.

Основываясь на логике принятия решений (Fuzzy), сделана попытка идентификации алгоритма путем исправления ошибок, полученных при использовании градиентного метода с целью дальнейшего повышения точности модели.

367. Математическое моделирование движения включений в промежуточных ковшах / Wang Jian-jin, Zhou Li, Wang Xue-shong // Anhui gongye dahue xuebao = J. Anhui Univ. Technol. - 2001. - 18, № 2. - С. 97-100. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 01.11-15Б.11.

Проведено компьютерное моделирование движения НВ в расплавленной стали в двух типах промковшей УНРС. Получено, что НВ с диаметром более 100 мкм могут всплывать на поверхность Ме, а НВ с диаметром менее 5 мкм всплывают плохо и 90 % их выходит из промковша с разливаемым Ме. Установка перегородки в промковше обеспечивает всплывание НВ с диаметром более 50 мкм

368. Математическое моделирование движения жидкости при непрерывной разливке = Mathematical modelling of fluid flow in continuous casting / Brian G. Thomas, Zhang Lifeng // ISIJ International. - 2001. - 41, № 10. - С.1181-1193. - Англ. - РЖ Металлургия, 02.06-15Б.24.

Дан литературный обзор развития и совершенствования математического моделирования физических явлений в кристаллизаторе установки непрерывной разливки, включая турбулентное движение металла в разливочном сопле и кристаллизаторе; перенос пузырьков газа и неметаллических включений; движение многофазных потоков; воздействие электромагнитных сил и т.д.

369. Математическое моделирование жидких потоков при наполнении промежуточного ковша и последующими операциями начала разливки в процессе непрерывной разливки стали = *Mathematical modelling of fluid flow phenomena during tundish filling and subsequent initial casting operation in steel continuous casting* / Fan Ching-Ming, Hwang Weng-Sing // *ISIJ International*. - 2000. - 40, № 11. - С.1105-1114. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 01.08-15В.180.

Математическая модель наполнения промежуточного ковша и последующих стадий процесса непрерывной разливки разработана с применением компьютерной техники представления динамических потоков и двумерной модели турбулентности

370. Математическое моделирование затвердевания и напряжения заготовки в кристаллизаторе / Wang Engang, He Jicheng, Yang Lekuan, Chen Haigeng // *Jinsu хuebao = Acta met. sin.* - 1999. - 35, № 4. - С. 433-438. - Кит.; рез. англ. - РЖ *Металлургия*, 1999, 10В215.

Разработаны математические модели затвердевания и напряжения заготовки в кристаллизаторе при непрерывной разливке. С помощью моделей рассмотрено влияние воздушного промежутка в торце непрерывнолитой заготовки на ее тепловое и механическое состояние.

371. Математическое моделирование изменения состава шлака в кристаллизаторе УНРС = *Mathematical modelling of change in composition of mold flux in continuous casting of steel* / A. Kivose, K.Miyazawa, W. Yamada // *ISIJ International*. - 1996. - 36, Suppl. - С. 155-S.158. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 1997, 8А64.

Разработана математическая модель реакции взаимодействия шлака и Ст в кристаллизаторе УНРС. По статистической термодинамической модели шлака рассчитаны активности CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , CaF_2 , Na_2O . Сравнение расчетных данных изменения состава шлака с полученным на практике при разливке Ст с высоким содержанием Ti показало их хорошее соответствие, что позволяет сделать вывод о приемлемости математической модели и о возможности ее использования для подбора составов флюсов для разливки различных марок Ст.

372. Математическое моделирование потоков, переноса тепла и затвердевания расплава, вытягиваемого двумя роликками в тонкую литую стальную полосу = *Mathematical modelling of fluid flow, heat transfe, and solidification in two-roll melt drag thin strip casting of steel* / Gupta Manish, Sahai Yogeshwar // *ISIJ International*. - 2000. - 40, № 2. - С. 144-152. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 00. 11-15В.254.

Двумерная модель, разработанная по методу конечных элементов для расчетов потоков тепла и вещества, а также условий затвердевания жидкого Ме в зазоре между двумя роликками-кристаллизаторами, вытягивающими жидкий

расплав из горизонтального желоба, дополнена двумя уравнениями, передающими закон сохранения энергии, для расчета турбулентности жидких потоков с учетом изменения вязкости жидкости. В модели учтена доля энергии, связанная со скрытой теплотой плавления.

373. Математическое моделирование проникновения шлака в кристаллизатор при непрерывной разливке / Lei Hong, Zhu Miaoyong, He Jicheng // Jinsu xuebao = Acta met. sin. - 2000. - 36, № 10. - С. 2223-2227. - Кит.; рез. англ. - РЖ Metallургия, 01.08-15В.168.

Создана модель механизма вовлечения шлака в кристаллизаторе. Показано, что критическая скорость жидкой стали определяется физическими свойствами шлака и металла, включая плотность, вязкость и межфазное натяжение.

374. Математическое моделирование процесса непрерывной разливки на тонкослябовой двухконвейерной УНРС / Qin Yongjian, Sun Guoxiong, Yu Weiping и др. // Dongnan daxue xuebao = J. Southeast Univ. - 1995. - 25, № 2. - С.35-42. - Кит.; рез. англ. – РЖ Metallургия, 1995, 12В239.

Разработана математическая модель тепловых и гидродинамических потоков Me в процессе его затвердевания при непрерывной разливке на УНРС двухконвейерного типа. Уравнения тепловых потоков и движения Me представлены в дифференциальном виде и решаются итеративным методом

375. Математическое моделирование состояния пленок в кристаллизаторе УНРС / Zhy Liguang, Wang Shuoming, Jin Shantong // Beijing keji daxue xuebao = J. Univ. Sci. and Techn. Beijing. - 1999. - 21, № 1. - С. 13-16. - Кит.; рез. англ. – РЖ Metallургия, 00.02-15В.196.

Предложена модель затвердевания, основанная на учете влияния защитного флюса (ЗФ) в кристаллизаторе. Модель позволяет оценивать размер и толщину зазора, заполняемого флюсом, по степени усадки S_t , а также t -ру и размеры пленки ЗФ. Состав ЗФ изменяли в пределах: CaO 32,0-35,0; SiO₂ 30,0-35; 0, Na₂O 3,5-13,0; F 4,5-7,0; MgO 0-2,0; Al₂O₃ 3, 5-9,5 %, при этом t -ра перехода ЗФ в жидкое состояние варьировалась от 1030 до 1175 С°, а вязкость от 1,4 до 31 Па·с. Эффективность ЗФ, как смазки, возрастает с увеличением скорости разливки.

376. Математическое моделирование теплопереноса и затвердевания в зоне мениска непрерывнолитого сляба / Yang Wengai, Chen Dongliang, Gan Yong, Du Ting // Zhongguo youse jinchi xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. - 1997. - 7, № 1, Suppl. - С.92-95. - Кит., рез. англ. - РЖ Metallургия, 1997, 11 В253.

Разработана модель конечных элементов для оценки переноса тепла и кристаллизации формируемых на УНРС слябов. Модель использовали для изучения влияния скорости разливки и времени обратного хода кристаллизатора на развитие начальных фаз затвердевания.

377. Математическое моделирование термически индуцированных напряжений в тонкой литой стальной полосе, вытягиваемой из расплава двумя роликами-кристаллизаторами = Mathematical modelling of thermally induced stresses in two-roll melt drag thin strip casting of steel / Gupta Manish, Sahai Yo-

geshwar // ISIJ International. - 2000. - 40, № 2. - С. 137-143. - Англ. - РЖ Металлургия, 00. 11-15В.252.

Для выяснения процесса образования трещин при затвердевании тонких полос были использована двумерная математическая модель на основе метода конечных элементов. Модель позволяет воспроизводить поле т-ры, потоки жидкого Ме, теплопередачу и тепловые нагрузки рассматриваемого объекта.

378. Математическое моделирование течений и поведения дискретных фаз в V-образном промежуточном разливочном устройстве = Mathematical modelling of flows and discrete phase behaviour in a V-shaped tundish / Schwarze Rudiger, Obermeier Frank, Hantusch Jan и др. // Steel Res. - 2001. - 72, № 5-6. - С. 215-220. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 02.06-15В.161.

Дан численный анализ V-образного промежуточного разливочного устройства с различными комбинациями перемычек и порогов, служащих для модифицирования течения жидкого металла. Применена численная модель, основанная на методе Эйлера-Лагранжа. Течение описано осредненными уравнениями Рейнольдса для переноса массы, количества движения и энергии в соединении с RNG-k-е-моделью. Турбулентное число Прандтля является функцией местных показателей турбулентности в течении. Дисперсные нерастворившиеся фазы описаны интегрированием уравнения движения для индивидуальных частиц. Турбулентная диффузия частиц имитирована моделью времени существования вихря.

379. Математическое моделирование явлений затвердевания, тепло- и массопереноса при непрерывной разливке стали = Mathematical modelling of fluid flow, heat transfer and solidification phenomena in continuous casting of steel / S. Choudhary, D. Mazumdar // Steel Res. - 1995. - 66, № 5. - С.199-205. - Англ. - РЖ Металлургия, 1995, 11В269.

Разработана двумерная математическая модель стационарного состояния процесса непрерывного литья сортовой Ст. Приведена блок-схема программы. Для численного решения системы дифференциальных уравнений использован метод конечных разностей с заданием граничных условий в безразмерном виде.

380. Моделирование динамики термомассопотоков в процессе кристаллизации и поведение неметаллических включений при непрерывной отливке слябов = Thermo-fluid-dynamica modelling of the solidification process and behaviour of nonmetallic inclusions in the continuous casting slabs / Santis Michele de, Ferretti Alessandro // ISIJ International. - 1996. - 36, № 6. - С. 673-680. - Англ. - РЖ Металлургия, 1997, 1В213.

Осуществлено численное моделирование особенностей непрерывной разливки и процесса затвердевания Ст с использованием выявленных закономерностей взаимодействия между переносом тепла или изменениями т-ры поверхности слябов по мере утолщения затвердевшей корочки и динамикой течений жидкой фазы в лунке незатвердевшего Ме.

381. Моделирование затвердевания слябов на ЭВМ / Guo Ge, Qiao Junfei, Wang Wei // Zhongguo youse jinchi xuebao = Chin. J. Nonferrous Metals. - 1999. - 9, № 2. - С.339-344. - Кит., рез. англ. - РЖ Металлургия, 00.01-15В.205.

Представлена модель затвердевания непрерывнолитой заготовки, учитывающая термические превращения и динамику потоков жидкой стали в формируемой заготовке по ходу процесса, что представляет шаг вперед по сравнению с моделью, основанной только на передаче тепловой энергии.

382. Моделирование микросегрегации в процессе непрерывной отливки полос / Zhang Xiaoming, Miao Yuchuan, Liu Xiang-hua, Wang Guo-dong // *Ziran kexue ban = J. Northeast. Univ. Natur. Sci.* - 2001. - 22, № 2. - С.162-164. - Кит.; рез. англ. - РЖ *Металлургия*, 01.12-15В.180.

Методом численного моделирования исследовали развитие микросегрегации в стальной полосе, формируемой в процессе непрерывной разливки и получили зависимость доли твердой фазы. Доля твердой фазы возрастает в узком интервале температур. С ростом скорости охлаждения сегрегация между дендритами увеличивается, а внутри дендритов уменьшается. На базе расчетных данных выявлено поле температур затвердевания в литой полосе.

383. Моделирование процесса непрерывной разливки слэбов стали с использованием двухзонного электромагнитного торможения / Zheng Honghia, Li Baokuan, Chang Zezhou // *Jinsu xuebao = Acta met. sin.* - 2001. - 37, № 8. - С. 877-881. - Кит. ; рез. англ. - РЖ *Металлургия*, 02.05-15В.210.

Разработана математическая модель для цифровых расчетов при низких значениях числа Рейнольдса движения расплавленной стали в кристаллизаторе слэбовой установки непрерывной разливки. На основании результатов моделирования для уменьшения глубины проникновения расплавленной стали в кристаллизатор предложен метод двухзонного электромагнитного торможения.

384. Моделирование случайных потоков при непрерывной разливке стали = *Modelling of transient flow phenomena in continuous casting of steel* / X. Huang, B.G. Thomas // *Can. Met. Quart.* - 1998. - 37, № 3-4. - С.197-212. - Англ.; рез. фр. - РЖ *Металлургия*, 00.03-15В.201.

Для моделирования возникновения случайных потоков использовали трехмерную модель, основанную на методе конечных элементов. Модель учитывала особенности теплообмена в условиях турбулентности, перегрева и перемешивания жидкой фазы Me аргоном.

385. Моделирование степени обновления состава стали, смешиваемой в промежуточном ковше при непрерывной разливке (сериями) = *Modeling of grade change operations during continuous casting of steel - mixing in the fundish* / C. Damle, Y. Sahai // *Iron and Steelmaker.* - 1995. - 22, № 6. - С. 49-59. - Англ. - РЖ *Металлургия*, 1996, 4В262.

Математическая модель процесса обновления состава Me в промежуточном ковше представлена уравнениями сохранения массы, моментов количества движения и тепловой энергии, для случая 3-мерных турбулентных потоков и теплопереноса в объеме промковша.

386. Моделирование электромагнитного торможения и его влияния на проникновение пузырьков = *Modelling of the EMBR and its influence on bubble entrapment* / R.H.M.G. Nabben, R.P.J. Duursma, A.A. Kamperman, J.L. Lagerberg // *Rev. met. (Fr.)*. - 1998. - 95, № 11. - С.1435-1442, IV-V. - Англ.; рез. фр., нем.,

исп. - РЖ Metallургия, 00.03-15В.222.

Для оптимизации режима электромагнитного торможения, затрудняющего проникновение пузырьков аргона вглубь лунки незатвердевшего Me на радиальной слябовой УНРС, потребовалась корректировка параметров математической модели. Это позволило повысить точность математического описания и разработать режимы электромагнитного торможения, близкие к оптимальным.

387. Определение методом численного моделирования оптимальных условий вторичного охлаждения при непрерывной отливке = Prediction by numerical analysis of optimum secondary cooling conditions for continuous casting // NKK Techn. Rev. - 1999. - № 81. - С. 46-48. - Англ. - РЖ Metallургия, 00.12-15В.204.

Оптимизацией условий вторичного охлаждения можно предотвратить поперечные и угловые трещины, обеспечив в зонах изгиба и выпрямления отливаемых заготовок т-ру их поверхности за пределами интервала хрупкости. С этой целью была разработана новая программа поиска оптимального режима охлаждения.

388. Предсказание и анализ образования внутренних трещин в непрерывнолитых слябах по математическим моделям = Prediction and analysis on formation of internal cracs in continuously cast stabs by mathematical models / Han Zhi-qiang, Cai Kaike, Liu Baicheng // ISIJ International. - 2001. - 41, № 12. - С. 1473-1480. - Англ. - РЖ Metallургия, 02.10-15В.219.

Механизм возникновения внутренних трещин связан с напряженным состоянием слябов и развитием микросегрегации в зоне фронта затвердевания. Напряжения в этой зоне обусловлены условиями изгиба или вспучивания их последующего выпрямления. Модель микросегрегации учитывает изменение состава жидкой фазы в ходе затвердевания и возможность превращения феррита в аустенит.

389. Термическое и механическое моделирование непрерывной разливки = Thermische und mechnische modelle zum Stranggiesen / Harste Klaus, Deisinger Markus, Steinert Jngo, Tacke Karl-Hermann // Stahl und Eisen. - 1995. - 115, № 4. - С.111-118. - Нем. - РЖ Metallургия, 1995, 10В193.

Представлен обзор математических моделей, позволяющих проанализировать причины появления трещин на литых заготовках. Рассмотрены термические напряжения, возникающие при прохождении заготовок по роликовой проводке в условиях шпреерного охлаждения. Методом конечных элементов выявлены растянутые и сжатые зоны, нивелировка которых может быть достигнута изменением конфигурации технологической оси установки и улучшением системы вторичного охлаждения.

390. Трехмерная математическая модель для анализа непрерывной разливки двутавровых балок с использованием системы координат, отвечающей форме балок = 3-dimensional mathematical model for the analysis of continuous beam blank casting using body fitted coordinate system / Lee Jung-Eui, Yoon Jong-Kyu, Han Heung Nam // ISIJ International. - 1998. - 38, № 2. - С.132-141. - Англ. -

РЖ Металлургия, 1998, 10В268.

Созданная математическая модель позволяет анализировать особенности тепло- и массопереноса в лунке жидкого металла, содержащегося внутри корковой зоны формируемой балки. Оновременно моделировали процессы турбулентности в условиях естественной и вынужденной конвекции, а также характер изменения т-ры и развития макросегрегации в твердой и жидкой фазах в сечении заготовки по мере их удаления от верха кристаллизатора с учетом состава, т-ры и скорости разливаемой Ст.

391. Трехмерное математическое моделирование для изучения движения жидкости в кристаллизаторе слябовой УНРС / Bao Yanping, Zhang Tao, Jiang Wei, Xu Baomei // Beijing keji daxue xuebao = J. Univ. Sci. and Techn. Beijing. - 2001. - 23, № 2. - С. 106-110. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 01.10-15Б.11.

Разработана математическая модель для изучения движения расплавленного Ме в кристаллизаторе слябовой УНРС на основе использования экспериментальных данных, полученных на водяной модели. С помощью модели изучено влияние профиля выходного сечения погружных разливочных сопел, глубины погружения сопел и скорости разливки на поля скоростей в кристаллизаторе.

392. Физическое и математическое моделирование движения и времени пребывания металла в промежуточных ковшах разной конструкции = Physica and mathematical modelling of flow and residence time distributions in different tundish designs / Robert Asish, Mazumbar Dipak // Steel Res. - 2001. - 72, № 3. - С. 97-105. - Англ.; рез. нем. - РЖ Металлургия, 01.11-15Б.9.

Разработана и использована математическая модель для расчета установившегося турбулентного движения расплавленного металла и определения времени пребывания металла в промковшах УНРС.

393. Физическое и математическое моделирование расширяющегося сопла для подачи металла с высокой скоростью в установке разливки тонких полос = Metal delivery to high speed, chin strip casting machines for physical and mathematical modelling of an extended nozzle / Jefferies Carol, Hasan Mainul, Roderick I.L. Guthrie // ISIJ International. - 1996. - 36, № 1. - С.52-60. - Англ. - РЖ Металлургия, 1997, 1В203.

Разработана стабильная, 2-мерная жидкостнодинамическая модель для прогнозирования. Численная модель основана на использовании модели Brinkman- Forchheimer, совершенствующей модель Darcy в среде пористого фильтра, и уравнения Навье-Стокса для жидкости.

394. Физическое и математическое моделирование системы промежуточного ковша УНРС = The physical and mathematical modelling of continuous casting tundish system / Mazumdar Dipak, Roderick I.L. Guthrie // ISIJ International. - 1999. - 39, № 6. - С.524-547. - Англ. - РЖ Металлургия, 00.06-15В. 186.

Приведен аналитический обзор методов ковшевой металлургии в приложении к системам промежуточного ковша. В работах по моделированию исследованы вопросы решения критериальных уравнений. Особое внимание уделено флотации включений и проблемам теплопереноса во время пропуска Ме через

ковш.

395. Цифровое моделирование полей скоростей в новом кристаллизаторе для непрерывной разливки с гибридным магнитным полем / Qian Zhongdong, Li Benwen, Li Donghui, Wang Engang // *Jinsu xuebao = Acta met. sin.* - 2001. - 37, № 11. - С.1223-1227. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 02.10-15В.221.

Проведено компьютерное моделирование движения расплавленного металла в кристаллизаторе установки непрерывной разливки при воздействии комбинированного магнитного поля.

396. Цифровое моделирование процесса затвердевания стальных слэбов на начальной стадии непрерывной разливки / Yang Bingjian, Guo Lan, Su Junyi, Zhu Xianhua // *Xi'an jiaotong daxue xuebao = J. Xi'an Jiaotong Univ.* - 1994. - 28, № 1. - С. 9-15. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1995, 7В313.

Для осуществления этапа моделирования разработана 3-мерная модель переноса тепла и затвердевания стальных слэбов на начальных этапах разливки.

397. Численное исследование процесса затвердевания цилиндрического слитка в металлическом кристаллизаторе при варьировании технологических условий = Numerical investigation of solidification processes of cylindrical ingot in a metal mould at variable technological circumstances / T.P. Chernogorova, P.N. Vabischchevich // *Int. J. Heat and Mass Transfer.* - 1999. - 42, № 17. - С.3351-3359. - Англ. - РЖ Металлургия, 00.03-15В.218.

Методом математического моделирования на двумерной модели изучали особенности затвердевания бинарных сплавов в металлическом кристаллизаторе при изменении условий разливки. Представлены некоторые варианты решений методом конечных разностей.

398. Численное моделирование и экспериментальный анализ электромагнитной непрерывной разливки с мягким контактом в кристаллизаторе / Deng Kang, Ren Zhongming, Jiang Guochang // *Jinsu xuebao = Acta met. sin.* - 1999. - 35, № 10. - С.1112-1116. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 00.07-15В.156.

С использованием квазитрехмерной математической модели электромагнитного поля показано, что обмотка индуктора полностью удерживает затвердевшую корочку слитка при сохранении зеркала Me в кристаллизаторе.

399. Численное моделирование нерегулярных усадок в формируемой корочке слитка при непрерывной разливке = Numerical simulation on irregular shrinkage of initial shell in continuous casting of steel/ Jing Dejun, Cai Kaike // *J. Univ. Sci. and Techn. Beijing.* - 1999. - 6, № 2. - С. 103-106. - Англ. - РЖ Металлургия, 00.03-15В.220.

Исходя из микроструктуры Ст создана модель термопластичных напряжений для изучения начальных стадий затвердевания Me в кристаллизаторе. Результаты моделирования свидетельствуют о значительной роли перитектических фазовых превращений в процессе возникновения нерегулярных усадочных пор в настывающей в кристаллизаторе корочке слитка.

400. Численное моделирование потоков металла и переноса тепла в процессе отливки лент на установке с двумя роликками-кристаллизаторами = Numerical simulation of metal flow and heat transfer during twin roll strip casting / J.D.

Hwang, H.J. Lin, W. S. Hwang, C.T. Hu // ISIJ International. - 1995. - 35, № 2. - С. 170-177. - Англ. - РЖ Металлургия, 1995, 8В216.

Начало разлива на двухроликовых УНРС представляет серьезную проблему в связи со свариванием противоположных стенок лунки до начала вытягивания листовой заправки из наиболее узкого зазора между роликами-кристаллизаторами. Момент начала вытягивания рассчитывается методом конечных элементов с учетом граничных условий и мгновенных материальных и тепловых балансов между объемом жидкости и контактными поверхностями.

401. Численное моделирование потоков тепла и вещества и способ оптимизации управления потоками в шестиручьевом промежуточном ковше / Fan Junfei, Zhu Miaoyong, Wang Wenzhong // Jinsu xuebao = Acta met. sin. - 1999. - 35, № 11. - С. 1191-1194. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 00.07-15В.181.

402. Численное моделирование процесса затвердевания круглых чугуновых прутков при горизонтальной непрерывной разливке = Numerical simulation on solidification proces of continuously cast round iron bars / Zhhang Yunpeng, Su Junyi, Zhu Jinxia, Gan Yu // Chin. J. Mech. Eng. - 1999. - 12, № 3. - С.204-210. - Англ. - РЖ Металлургия, 00.07-15В.155.

Разработана методика численного моделирования процесса горизонтальной непрерывной разливки чугуновых прутков круглого сечения, основанная на представлениях продольной теплопередачи в направлении разливки.

403. Численное моделирование роста твердой фазы в процессе непрерывной разливки стали / Bokota Adam, Iskierka Slawomir, Sowa Leszek // Zesk. nauk. Mech. / PSI. - 1995. - № 122. - С. 35-42. - Пол.; рез. англ., рус. - РЖ Металлургия, 1996, 9В300.

Представлена математическая модель и результаты расчетов методом конечных элементов процесса затвердевания стали в объеме кристаллизатора прямоугольного сечения.

404. Числовое моделирование и экспериментальная проверка толщины затвердевшей корочки в кристаллизаторе при непрерывной разливке / Yang Bingjan, Su Junyi, Zhu Xianhua // Xi'an jiaotong daxue xuebao = J. Xi'an Jiaotong Univ. - 1997. - 31, № 10. - С. 72-77. - Кит.; рез. англ. - РЖ Металлургия, 1998, 4В256.

Математическое описание процесса переноса в жидкости тепла и вещества позволило моделировать рост толщины корочки в процессе формирования сляба методом непрерывной разливки. Использована методика совмещения зон расчета жидких потоков и потоков тепла, позволившая оценить эффективный коэффициент теплопередачи от сляба к охлаждаемой воде через стенки кристаллизатора при определенных граничных условиях. Метод реализован для случая 3-мерной модели температурного поля и затвердевшей части сляба.

405. Электромагнитная разливка слябов: совершенствование цифровой модели в кристаллизаторе под воздействием переменного и постоянного токов / P. Gardin, B. Dumont, M. Anderhuber и др. // Rev. met. (Fr.). - 2001. - 98, № 11. - С. 1015-1024, V-VI. - Фр., рез. англ., нем., исп. - РЖ Металлургия, 02. 10-15В.220.

Изучено влияние наложения двух различных типов электромагнитных полей: одного, получаемого от переменного тока и создающего импульсное воздействие на верхнюю часть расплавленной стали в кристаллизаторе, и другого, получаемого от постоянного тока и используемого для стабилизации свободной поверхности, возмущаемой переменным электромагнитным полем.

СПИСОК СОКРАЩЕННЫХ СЛОВ

Ст – сталь

т-ра – температура

Ме – металл

НВ – неметаллические включения

ЧМ – черная металлургия

ММ – математическая модель

ПУТ – пылеугольное топливо

СПИСОК ПРОСМОТРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Реферативный журнал / ВИНТИ. Серия: Metallургия (РЖ Metallургия). – 1995-2002 гг.
2. Известия вузов. Черная metallургия. – 1995-2002 гг.
3. Сталь. – 1995-2002 гг.
4. Metallург. – 1995-2002 гг.
5. Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2000-2002 гг.
6. Черные металлы. – 1995-2002 гг.
7. Расплавы. – 1999-2002 гг.
8. Металлы. – 2000-2002 гг.
9. Электrometallургия. – 2000-2002 гг.

Библиографическое издание

Математическое моделирование металлургических процессов

Ретроспективный библиографический указатель
(1995 – 2002 гг.)

Составитель

Крылова Любовь Васильевна

Редактор Суганяк Н.И.

Изд. лиц. № 01439 от 05.04.2000 г. Подписано в печать 01.03.04 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Ризография.

Усл. печ. л. Уч.-изд. л Тираж 15 экз. Заказ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательский центр ГОУ ВПО «СибГИУ»

