

ОТЗЫВ

официального оппонента Лукина Сергея Владимировича на диссертацию Ивановой Анны Александровны на тему «Прогнозное моделирование тепловых процессов при непрерывной разливке металлов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, в диссертационный совет Д 01.016.03 при «Донецком государственном университете»

Актуальность избранной темы

Технология непрерывной разливки является одним из самых прогрессивных способов производства заготовок из металлов и сплавов. В связи с этим актуальна проблема разработки новых и совершенствования существующих технологий непрерывной разливки, которые весьма высоко востребованы всеми производителями металлургической продукции.

Тепловые процессы, происходящие внутри непрерывного слитка, решающим образом влияют на качество производимой продукции. Выработка наиболее рациональных тепловых режимов, а также их максимально строгое соблюдение требуются для безаварийной работы металлургического оборудования.

Поскольку проведение измерений температурного поля крайне затруднено, а зачастую просто невозможно, наилучшим инструментом для изучения становится математическое и компьютерное моделирование. Математическому моделированию в исследованиях тепловых процессов с фазовыми превращениями, происходящих при непрерывной разливке, уделено достаточно большое внимание. Однако множество задач в этой области всё ещё остаются открытыми, а вместе с развитием технологии возникают новые. Актуальными являются теоретические, компьютерные и экспериментальные исследования механизмов и закономерностей тепло- и массопереноса в задачах определения тепловых взаимосвязей между металлургическим оборудованием и непрерывным слитком в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения (ЗВО), а также способы оптимизации параметров тепловых технологических процессов кристаллизации непрерывных слитков в МНЛЗ при динамических режимах. Среди наиболее сложных и важных задач при разработке рациональных тепловых режимов для технологического процесса непрерывной разливки следует выделить проблему улучшения качества продукции и повышение структурной однородности получаемой заготовки.

Диссертация посвящена разработке аппарата прогнозного моделирования, что предполагает использование предложенных моделей в контуре системы автоматического управления машиной непрерывного литья и налагает требования на скорость вычислений. Данная постановка следует из возникающих в настоящее время задач при разработке систем управления технологическим процессом непрерывной разливки.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе соискателем корректно использованы современные методы математического моделирования и научные теории теплофизики затвердевания металлов и сплавов. Принятые допущения адекватны, данные экспериментов обработаны в соответствии со стандартными требованиями, результаты вычислений в достаточной мере согласуются с экспериментальными данными, полученными в лабораторных и производственных условиях, а также с данными литературных источников. Исследования, представленные в диссертации, прошли апробацию на семинарах и международных научных и практических конференциях, и достаточно полно представлены в публикациях в том числе и в журналах, входящих в международную наукометрическую базу Scopus. Таким образом, следует считать научные положения, выводы и рекомендации, полученные соискателем в ходе диссертационного исследования, в достаточной степени обоснованными.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждается актами об использовании на производстве результатов исследовательских работ в ЗАО "КОРАД" (Москва), и на Филиале №2 Енакиевского металлургического завода ЗАО «ВТС» (Енакиево). Разработанные трёхмерная математическая модель температурного поля непрерывного слитка, алгоритмы численного решения поставленной задачи, а также алгоритм решения обратной задачи теплопроводности с учётом фазовых переходов были использованы при разработке программного обеспечения для автоматического проектирования оптимальной конфигурации зоны вторичного охлаждения (ЗВО) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Результаты исследований, касающиеся влияния разных технологических параметров на тепловое состояние слитка, в частности на глубину и форму жидкой лунки были использованы при выработке практических рекомендаций для совершенствования режимов функционирования сортовой МНЛЗ Енакиевского металлургического завода ЗАО «ВТС».

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что автором выполнено системное сопоставление моделей температурного поля с расчётом границ фазового перехода по условиям Стефана, по квазиравновесной модели, по методу введения функции состава гетерогенной смеси, а также по разработанному новому методу нахождения положения двухфазной зоны внутри непрерывного слитка. Проведённый анализ позволяет выбрать наиболее подходящий с точки зрения конкретной задачи метод учёта тепловыделения при кристаллизации для определения текущей конфигурации области непрерывного слитка, содержащей одновременно жидкую и твёрдую фазы металла. Разработана математическая модель температурного поля непрерывного слитка с определением положения границ двухфазной зоны по условиям Стефана, сформулированным отдельно для ликвидуса и солидуса, которая позволяет рассчитывать геометрию двухфазной области, а также скорости продвижения изотерм и границ фазового перехода и градиенты температур вблизи фазового пе-

рехода. Выработаны числовые характеристики температурного поля и на их базе разработана методика оценки температурного состояния слитка как на этапе проектирования, так и в процессе функционирования системы автоматического управления МНЛЗ. Разработана новая методика, основанная на математическом моделировании температурного поля и анализе качественного поведения кривых скорости продвижения изотермы ликвидус и температурных градиентов на границе фазового перехода, позволяющая определять режимы функционирования МНЛЗ для формирования необходимой структуры непрерывного слитка.

Практическая значимость работы состоит в разработке способа вычисления положения неизвестной границы фазового перехода в задаче Стефана, позволяющего производить расчёты быстрее, чем в режиме реального времени, что делает возможным использование соответствующей математической модели в системе автоматического управления производственным процессом непрерывной разливки. Проведённые исследования поведения формы двухфазной зоны и глубины жидкой лунки в зависимости от динамики процесса разливки позволяют выработать рекомендации по подбору конструктивных и технологических параметров при разработке новых, а также модернизации существующих МНЛЗ, с целью повышения производительности при наиболее строгом соблюдении требований к температурному режиму разливки. Разработанная на основе прогнозной модели температурного поля непрерывного слитка методика, позволяет определять оптимальные режимы расхода воды в ЗВО при переходных процессах в разливке.

Замечания

1. В п. 2.4.2 диссертации разработан метод численного решения задачи затвердевания сляба в постановке Стефана, однако, для таких сплавов, как сталь, такая постановка является довольно упрощенной, и не совсем понятна необходимость такого метода, поскольку известные методы, основанные например, на квазиравновесной модели затвердевания, позволяют более точно рассчитывать процесс затвердевания, и скорость расчета при использовании современных компьютеров может быть гораздо выше, чем в режиме реального времени.
2. На стр. 135 диссертации в известной формуле (3.1), описывающей теплообмен сляба с кристаллизатором, входит величина δ – толщина зазора между поверхностью сляба и рабочей стенкой кристаллизатора, однако в тексте диссертации нет информации по значению данной величины, которая является определяющей при теплообмене, и вообще говоря, изменяется по высоте кристаллизатора. Поэтому непонятно, при каких условиях проводилось моделирование охлаждения и затвердевания сляба в кристаллизаторе.
3. Математическая модель температурного поля рабочей стенки кристаллизатора, изложенная в п. 3.2 диссертации в виде выражений (3.1) – (3.10), не обладает научной новизной, и содержит неопределенный параметр δ – толщину зазора между поверхностью сляба и рабочей стенкой кристаллизатора, поэтому ее можно использовать только для оценочных расчетов.

4. В п. 4.2 диссертации приведена математическая модель 3-х мерного температурного поля непрерывнолитого сляба в виде выражений (4.1)-(4.4), которая также не обладает научной новизной, и содержит параметры α (коэффициенты теплоотдачи) и C_m (приведенный коэффициент излучения), которые требуют конкретизации. Поэтому, все результаты расчетных исследований, приведенные в п. 4.3, получены при неизвестных значениях этих параметров.

5. На рис. 5.8 на стр. 181 диссертации показаны зависимости коэффициента теплоотдачи α при форсуночном охлаждении, из которых следует, что коэффициент α не превышает значения $35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, что на один порядок ниже действительных коэффициентов теплоотдачи при водяном или водовоздушном форсуночном охлаждении. Очевидно, зависимость на рис. 5.8 не соответствует действительности.

6. В ходе всех экспериментальных исследований так и не получены зависимости коэффициента теплоотдачи при форсуночном охлаждении от влияющих факторов (удельной плотности орошения, температуры и т.д.), во всяком случае, в диссертации таких выражений нет, поэтому все результаты расчетов по затвердеванию сляба в МНЛЗ носят условный характер, поскольку не известны условия теплообмена на поверхности сляба.

7. На стр. 233 диссертации совершенно необоснованно предлагается использовать формулу (6.16) для определения коэффициента теплоотдачи при форсуночном охлаждении. Данная формула была получена при вынужденном течении жидкости вдоль поверхности теплообмена без изменения агрегатного состояния, тогда как при форсуночном охлаждении вода в виде капель ударяется о высокотемпературную поверхность сляба и часть воды превращается в пар, т.е. условия теплообмена совершенно другие. Кроме того, в формуле (6.17), которая выводится из формулы (6.16), коэффициент теплоотдачи (α) и коэффициент температуропроводности (a) обозначены одним символом (α_s).

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным п.2.1 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационная работа Ивановой Анны Александровны на тему «Прогнозное моделирование тепловых процессов при непрерывной разливке металлов» включает анализ состояния вопроса, постановку цели и задач исследования, теоретическое обоснование, экспериментальные исследования, разработку рекомендаций по использованию полученных результатов при решении вопросов исследования, совершенствования и оперативного контроля при организации теплотехнической части процесса разливки металлов в машинах непрерывного литья заготовок и способов повышения качества металлургической продукции. Работа является завершенным научным исследованием.

Принимая во внимание актуальность и важность решенных в диссертации задач, считаю, что вышеприведенные замечания не снижают ценности работы, которая соответствует п. 2.1 “Положения о присуждении учёных степеней” и удовлетворяет требованиям Высшей аттестационной комиссии, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени доктора техни-

ческих наук по специальности 05.14.04 – “Промышленная теплоэнергетика”, а её автор Иванова Анна Александровна заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
Теплоэнергетики и теплотехники,
федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Череповецкий
государственный университет»,
162600, Вологодская область,
г. Череповец, пр. Луначарского, д. 5
Тел. +7(8202) 51-78-29,
E-mail: lukinsv@chsu.ru


Лукин Сергей Владимирович


Я, Лукин Сергей Владимирович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, представленных в этом документе.


(подпись)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Череповецкий государственный университет»,
Адрес: 162600, Россия, Вологодская обл., г. Череповец, пр. Луначарского, д. 5.
Тел.: +7 (8202) 55-65-97. Эл. почта: chsu@chsu.ru. Адрес сайта:
<http://www.chsu.ru>

Подпись Лукина С.В. заверяю
проректор по научной работе




Е.В. Целикова