



Уральский федеральный университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

10 МАЙ 2018

№ 01.09 - 07/304

На №

от

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по науке, к.ф. – м.н.,
старший научный сотрудник
Кружаев Владимир Венедиктович

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Краюшкина Николая Александровича на тему «Исследование теплового состояния и разработка рациональных режимов охлаждения непрерывнолитых заготовок круглого сечения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы

В настоящее время процесс непрерывной разливки стали широко применяется во всех развитых странах для получения стальных заготовок различного профиля сечения. Но, несмотря на это, вопросы, касающиеся методов получения бездефектных непрерывнолитых заготовок, решены не в полной мере. Существенное влияние на количество дефектов в получаемых непрерывнолитых заготовках оказывают режимы охлаждения в зоне вторичного охлаждения (ЗВО). Представленная работа посвящена именно разработке рациональных режимов охлаждения с целью уменьшения количества дефектов в получаемых круглых непрерывнолитых заготовках. Поэтому диссертация Краюшкина Н.А., направленная на решение сформулированной задачи, является актуальной.

Объём диссертации составляет 161 страницу печатного текста, 55 рисунков, 14 таблиц и 2 приложения.

Во введении сформулированы актуальность темы, цели работы, дана характеристика ее научной новизны и практической значимости.

В первой главе автором выполнен анализ существующих методов непрерывной разливки стали и технологий, применяемых для уменьшения количества дефектов в получаемых заготовках. Отмечается, что при

проектировании рациональных режимов охлаждения необходимо учитывать комплексное влияние следующих факторов: особенности охлаждения заготовки, ее химический состав, профиль поперечного сечения, интенсивность процессов массопереноса в жидкой фазе и др. Особенно подчеркивается, что тепловое состояние отливаемых заготовок и количество дефектов в них существенным образом зависят от режимов охлаждения в ЗВО.

Во второй главе представлена разработанная автором математическая модель, позволяющая рассчитывать температурные поля, как по длине, так и по поперечному сечению заготовки в зависимости от размера заготовки, марки стали и скорости разливки. Основу модели составляет дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности с учетом внутренних источников теплоты в двухфазной зоне, решаемое методом Кранка-Николсона по неявной разностной схеме. Отличительной особенностью модели является учет внутренних источников теплоты путем присвоения численных значений теплофизическим параметрам в зависимости от исследуемой области.

Считаем необходимым отметить, что разработанная диссертантом модель обеспечивает достаточную точность расчетов. Это обеспечивает при большом количестве итераций получать характеристики теплофизических параметров, близкие к реальным значениям.

В третьей главе представлены результаты аналитических исследований, проведенных с использованием разработанной математической модели, которые включают графические зависимости изменения температурных полей и толщины затвердевшего металла не только по длине, но и по сечению затвердевающей непрерывнолитой заготовки из коррозионностойких марок сталей. Проведенные расчеты позволили выявить недостатки существующих тепловых режимов охлаждения и разработать рациональный режим охлаждения для заготовок из коррозионностойких марок сталей. Предлагаемый рациональный режим включает в себе существенную практическую значимость, так как обеспечивает снижение внутренних и наружных трещин в получаемых непрерывнолитых заготовках.

Следует также отметить, что автор использует комплексный всесторонний подход к проводимым исследованиям, о чем свидетельствует разработанная им методика расчета толщины слоя окалины, которая образуется на поверхности заготовки в процессе непрерывной разливки стали. Такой подход распространяется на всю работу в целом, затрагивая многие вопросы, так или иначе касающиеся непрерывной разливки, что свидетельствует о понимании автором важности всестороннего изучения исследуемой проблематики непрерывной разливки для разработки рациональных режимов охлаждения.

В четвертой главе автор исследует термические напряжения и их влияние на интенсивности теплоотвода при проектировании рациональных режимов охлаждения для случаев симметричного и асимметричного охлаждения заготовки в зоне вторичного охлаждения. Важной отличительной особенностью этой части аналитических исследований является получение более точной картины изменения термических напряжений по длине и периметру затвердевшего металла с учетом и без учета перетоков теплоты по периметру заготовки. Полученные при этом результаты о значениях термических напряжений, учитывающих перетоки теплоты, имеют научную и практическую значимость, так как позволяют детально оценить влияние перетоков теплоты на распределение температурных полей в заготовке. В работе автор объясняет причины в различиях величин термических напряжений без перетоков и с учетом перетоков теплоты.

Важной частью исследования и отличительной особенностью диссертационной работы является и то, что автор сумел дать оценку влияния неоднородности граничных условий на возникающие термические напряжения с учетом перетоков теплоты.

В пятой главе представлена методика расчета необходимого количества водо-воздушной смеси, подаваемой на поверхность заготовки для обеспечения рационального режима охлаждения. Методика позволяет определять и строить графические зависимости коэффициента теплоотдачи от расхода воды для заготовок различного диаметра, что на практике обеспечит возможность регулирования интенсивности охлаждения в ЗВО путем подачи необходимого и достаточного объемов водо-воздушной смеси на поверхность охлаждаемой заготовки. В методике уделено внимание учету тех допустимых термических напряжений, превышение которых может привести к образованию внутренних и наружных дефектов непрерывнолитой заготовки. Анализ результатов расчетов проведен с использованием современных методик. Выводы в конце главы логичны, соответствуют представленным в диссертации исследованиям и дают достаточно полную информацию о содержании диссертационной работы.

В заключении приведены основные научные и практические результаты, а также выводы по всему диссертационному исследованию. Текст заключения дает достаточно полную информацию о содержании диссертационной работы.

Диссертация написана грамотным научно-техническим языком. Автореферат, отражая содержание выполненного исследования, даёт полное представление о представляемой к защите диссертации.

Значимость результатов, полученных автором диссертации, для науки:

1. Разработанная математическая модель процесса охлаждения при непрерывной разливке стали учитывает влияние неоднородности граничных условий на формирование температурных полей и возникающих термических напряжений в затвердевающей заготовке и отличается способом поэлементного присвоения численных значений теплофизическим параметрам при учете скрытой теплоты кристаллизации в развитой двухфазной зоне.

2. Предложенная в работе модель для расчёта возникающих в процессе непрерывной разливки температурных полей и термических напряжений позволяет учесть перетоки теплоты между секциями водовоздушного охлаждения по периметру и в поперечном сечении заготовки, что дает более полное представление о тепловом состоянии непрерывнолитой заготовки в каждый момент времени цикла охлаждения.

3. Предложена методика оценки влияния неоднородности граничных условий на возникающие термические напряжения в процессе непрерывной разливки круглой заготовки с учетом перетоков теплоты. Получаемая при этом конкретная оценка обладает необходимой точностью и дает новые сведения о тепловых процессах, происходящих в ЗВО при непрерывной разливке.

Значимость результатов, полученных автором диссертации, для практики:

1. Для заготовок из коррозионностойких марок сталей обоснован рациональный режим охлаждения в ЗВО и рациональная скорость разливки. Режим устанавливает интенсивность теплоотвода, который соответствует коэффициентам теплоотдачи $\alpha=400, 300$ и $225 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ в первой, второй и третьей секциях вторичного охлаждения соответственно.

2. Полученные значения термических напряжений, возникающие при различных режимах охлаждения заготовки в случае симметричного и асимметричного теплоотвода от поверхности металла с учетом перетоков теплоты, позволяют прогнозировать появление внутренних и наружных дефектов в ЗВО для непрерывнолитых заготовок из различных марок сталей.

3. Предложенные решения по совершенствованию технологии охлаждения заготовок из коррозионностойких марок сталей в зоне вторичного охлаждения в процессе непрерывной разливки круглой заготовки позволяют уменьшить количество дефектов в получаемых методом непрерывного литья заготовках.

4. Рассчитаны и обоснованы необходимые расходы воды и плотности орошения водовоздушной смеси для реализации рациональных режимов

охлаждения.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Разработанная математическая модель процесса охлаждения, учитывающая изменение теплофизических параметров по длине и периметру, а также влияние на них перетоков теплоты, возникающих в непрерывнолитой заготовке, позволяет исследовать тепловое состояние и разрабатывать рациональные режимы охлаждения непрерывнолитых стальных заготовок из различных марок сталей. Это обеспечит снижение дефектов в получаемых непрерывнолитых круглых заготовках и, как следствие, увеличить производительность машин непрерывного литья.

Достоверность и обоснованность.

Полученные результаты имеют высокую степень достоверности, что подтверждается сравнением их с результатами подобных исследований, проведенных специалистами ЦНИИчермет им. И.П. Бардина для заготовок различного профиля при схожих скоростях разливки. Расхождение расчетных и практических значений температурных полей составляет не более 6%, что соответствует современным требованиям, предъявляемым к инженерным расчетам. Необходимо отметить, что автор диссертационной работы проводит сравнение своих результатов с практическими результатами нескольких авторов, что в большей мере подтверждает достоверность полученных им результатов исследований.

Замечания по работе.

При изучении текстов рукописи диссертации и автореферата возникли следующие замечания:

1. В аналитическом обзоре (глава 1) следовало бы:
 - не просто констатировать наличие фундаментальных работ известных отечественных и зарубежных ученых в области тепловых расчетов в МНЛЗ, а более подробно остановиться на научных недостатках этих методов, сосредоточив свое внимание на их устранении;
 - выполнить анализ современных пакетов прикладных программ моделирования затвердевания (кристаллизации) слитков, расчета термических напряжений, широко используемых в научных и инженерных расчетах (ANSYS, ProCAST, LVMFlow, Magmasoft и др.), обосновать нецелесообразности (невозможности) их использования.
2. При разработке математической модели (глава 2) диссертант:
 - отмечает возможности исключения из рассмотрения физико-химических процессов кристаллизации (стр. 62). По существу, в представленной модели все сложные физико-химические, гидродинамические и прочие процессы

- учитываются эффективными значениями теплоемкости и теплопроводности. При этом в работе не приводится ни одного примера их расчетов или их численных значений для различных режимов работы МНЛЗ и марок стали;
- предполагает симметрию распределения температурного поля относительно центральной оси заготовки (стр. 64 диссертации), не приводя каких-либо доказательств. В связи с этим следует пояснить – выполнимо ли это допущение при неравномерной (более чем на порядок) по периметру заготовки интенсивности охлаждения.

3. Конечно-разностная аппроксимация по схеме Кранка-Николсона, (глава 2, формула 14), которую автор использовал для расчетов, не соответствует уравнению теплопроводности (формула 13), т.к. в конечно-разностной аппроксимации учитывается неравномерность только по радиусу заготовки и отсутствуют слагаемые, характеризующие неравномерность температурного поля по длине заготовки и угловой координате.

4. В диссертации не раскрыты научные основы и методы параметрической идентификации внешнего теплообмена для конкретных условий функционирования объекта. В частности, не дана оценка влиянию режимных и конструктивных особенностей МНЛЗ на скачкообразное изменение коэффициента теплоотдачи в 17 раз по периметру заготовки (рис. 44), а также зависимости коэффициентов теплоотдачи от плотности орошения (рис. 53, 55).

5. По оформлению работы:

- Элементарное описание и общая схема МНЛЗ приведены во 2-й главе после аналитического обзора научных исследований в этой области. При этом на самой схеме (рис. 5) и в тексте отсутствует расшифровка всех обозначений.
- Обычно постановка задачи, цель и задачи исследований формулируются на основании аналитического обзора исследований в конце первой главы работы. В данном же исследовании они представлены в середине второй главы (параграфы 2.2, 2.3).
- В работе встречаются повторы. Так, совершенно одни и те же формулы и условные обозначения представлены в главах 2 (стр. 64-66) и 3 (стр. 77-79).

Заключение.

Диссертационная работа Краюшкина Н.А. является комплексным законченным научным исследованием, имеющим существенную научную и практическую значимость для современной металлургической промышленности, несмотря на приведенные замечания.

Рецензируемая диссертационная работа «Исследование теплового состояния и разработка рациональных режимов охлаждения непрерывнолитых заготовок круглого сечения» соответствует:

- специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»;

- требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (с изменениями от 28.08.2017 года).

Автор работы, Краюшкин Николай Александрович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Диссертационная работа и отзыв на нее рассмотрены и заслушаны на заседании кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» Института новых материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Протокол №5 от 26 апреля 2018.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» Института новых материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор



Спирин Николай Александрович

Ученый секретарь кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии», кандидат технических наук, доцент



Гольцев Владимир Арисович

Подписи

Спирин Николай Александровича и

Гольцева Владимира Арисовича

«Заверяю»,

заместитель директора Института новых материалов и технологий,
кандидат технических наук, доцент



Шимов Виктор Васильевич

16.05.2018г.

0212.132.02

