

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Е. В. Кожевниковой «Изучение трансформации структурно-фазового состава толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения потребительских свойств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

**Актуальность темы диссертации.** Постепенно истощающиеся запасы в ранее открытых месторождениях увеличивают потребность в разведывании новых месторождений, которые эксплуатируются во все более сложных условиях (арктические климатические зоны, морская вода). Это приводит к необходимости использования средств доставки углеводородов, способных работать в данных условиях. Для этого используются магистральные нефте- и газопроводы, выполненные из стальных труб большого диаметра. Исходной заготовкой для таких труб является лист, произведенный из непрерывнолитого сляба, качество которого, а именно, неоднородность химического и структурно-фазового составов, влияет на нестабильность свойств трубной заготовки из микролегированных низкоуглеродистых сталей. Этим подтверждается актуальность диссертационной работы Е.В. Кожевниковой, которая направлена на исследование взаимосвязи структуры и свойств непрерывнолитого сляба и толстолистового проката из микролегированных трубных сталей для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств.

**Диссертация состоит** из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 152 источников и 3 приложений.

**В первой главе** дан краткий литературный обзор современных подходов производства толстолистового проката из низколегированных трубных сталей. Рассмотрены системы легирования трубных сталей, технологии разлива и последующей термомеханической обработки. Уделено внимание вопросу влияния легирования на формирование структуры и свойств трубной стали.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации _____	30. 04. 2021
Фамилия регистратора _____	_____

Описаны закономерности наследования структурно-фазового состава сляба толстолистовым прокатом.

**Во второй главе** описаны материалы и применяемые современные методы исследования.

**В третьей главе** представлены результаты исследования структурно-фазового состава непрерывнолитых слябов исследуемых трубных сталей категорий прочности К60 и К65, полученных с использованием технологии мягкого обжата и без нее. С помощью рентгеноструктурного микроанализа показано распределение элементных составов по структурным зонам сляба.

Показано влияние технологии мягкого обжата на осевую химическую неоднородность и осевую рыхлость (пористость). С помощью спектрального анализа показано, что технология мягкого обжата уменьшает различия в концентрациях химических элементов между осевой и корковой зонами в слябах.

Рассчитаны коэффициенты интенсивности сегрегаций (по таким химическим элементам как углерод, марганец, сера и фосфор) по толщине в слябах, полученных на МНЛЗ.

Разработана методика оценки осевой химической неоднородности в слябе, основанная на использовании компьютерной программы анализа изображений «Thixomet PRO» к фотографированным изображениям макроструктуры слябов. Дана количественная оценка (поверхностной доли неоднородности) каждому баллу шкалы ГОСТ Р 58228-2018 «Заготовка стальная непрерывнолитая. Методы контроля и оценки макроструктуры» и принята к рассмотрению и использованию в ПАО «ММК».

**В четвертой главе** рассмотрено влияние технологии мягкого обжата на микроструктуру и свойства горячекатаного листа. Показано распределение структурных составляющих и вторичных фаз (карбиды, нитриды) по толщине горячекатаного листа из трубных сталей категорий прочности К60 и К65, с определением микротвердости каждой из них.



Разработана методика оценки осевой структурной неоднородности в толстолистовом прокате (рассеянной и сосредоточенной), возникающей вследствие наследования осевой химической неоднородности сляба. Выделено 5 баллов градаций микроструктуры и разработана эталонная шкала реальных структур для трубных сталей категории прочности К60.

**В пятой главе** разработаны режимы термической обработки исследуемых трубных сталей. Определены критические точки исследуемых сталей, и выявлены диапазоны исследования температур нагрева под закалку данных сталей. Показано влияние температуры нагрева на микроструктуру на размер аустенитного зерна и твердость HRC. Выявлены оптимальные температуры закалки для каждой стали (К60 – 900 °С, К65 – 930 °С).

Проведено исследование прокаливаемости сталей категорий прочности К60 и К65 (в соответствии с ГОСТ 5657-69), показано распределение твердости по длине образца (от охлаждаемого торца до незакаленной зоны).

Показано влияние отпуска на микроструктуру, тонкую структуру и твердость исследуемых сталей в интервале температур 300-700 °С, построены графики распределения твердости HRC и микротвердости HV.

Выявлена аномальная мелкозернистая структура в стали категории прочности К65 после закалки с 1050 °С, обусловленная рекристаллизационными процессами.

**Значимость работы для науки и практики.** При изучении влияния технологии мягкого обжатия на формирование макро- и микроструктуры непрерывнолитого сляба из трубных сталей К60 и К65 подтверждено, что внедрение контролируемого промежуточного обжатия на определенном этапе получения непрерывнолитой заготовки позволяет уменьшить нежелательное присутствие в осевой части ликвации химических элементов, что обусловлено снижением степени развития осевой химической неоднородности и осевой рыхлости в слябе, уменьшением размеров наследуемых толстолистовым прокатом частиц карбидов и нитридов в осевой зоне. Стоит отметить, что при данном способе производства в слябах одной плавки наблюдали

перераспределение серы и фосфора, что приводило к снижению концентрации данных примесей в первом и седьмом слябах и увеличению их концентрации в последнем (семнадцатом) слябе относительно данных ковшевой пробы. Определены прокаливаемость, оптимальные режимы термической обработки и критические точки фазового превращения различных плавок низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65.

С помощью рентгеноструктурного микроанализа исключено влияние междендритной ликвации на образование перлитной полосчатости в толстолистовом прокате низколегированных сталей категории прочности К60.

Разработаны методики контроля осевой химической неоднородности в слябе и осевой структурной неоднородности в толстолистовом прокате. Данные методики приняты к рассмотрению в ПАО «ММК», что подтверждается листом согласования (приложение В).

**Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертационной работы** основана на применении современных, взаимодополняющих методов исследований: сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгено-спектральный микроанализ, дилатометрический анализ.

#### **Замечания по работе:**

1. В диссертации не отражены основные технологические параметры процесса «мягкого» обжатия при непрерывной разливке трубных сталей (величина обжатия, температурный интервал деформирования), что затрудняет анализ полученных экспериментальных данных.

2. Не обосновано применение термина «коэффициент интенсивности сегрегаций», который определяется диссертантом как отношение содержания элемента в контрольном составе к содержанию его в ковшевой пробе, и по существу показывает различие в содержаниях конкретных химических элементов (серы, фосфора, углерода), определенных с помощью спектрального анализа в контрольных точках слябов или листах по сравнению с ковшевой пробой. На стр. 107 вводится термин «абсолютная ликвация» в горячекатаных



листах, которая охарактеризована коэффициентом ликвации. Нет определения данного термина, хотя в диссертации он приводится.

3. В исследовании не приводится методика количественного определения остаточного аустенита в исследуемых трубных сталях. Также не представлены испытания сталей на растяжение и ударную вязкость после рекомендованного режима закалки и отпуска, рассмотренного в главе 5.

4. В работе не приводятся результаты применения разработанной методики оценки осевой химической неоднородности на исследуемых плавках трубных сталей. В тоже время оценка влияния технологии мягкого обжата на характер макроструктуры слябов исследуемых сталей проводится по методике ГОСТ Р 58228-2018 (таблица 3.4, страница 77).

5. Отдельные замечания по содержанию и оформлению диссертации: на стр. 119, 120 нет изображения структур после закалки от 800 °С, хотя присутствует ее описание по тексту; на некоторых изображениях структур отсутствует масштабный отрезок (например, 5.11 на стр. 124 приводится сравнение структур при разных увеличениях от  $\times 400$  до  $\times 1000$ , а масштабный отрезок указан только для увеличения  $\times 500$ ).

Частный характер замечаний не может изменить общей положительной оценки диссертационной работы Е. В. Кожевниковой, которые не снижают ее научную новизну и практическую значимость. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи повышения эксплуатационных свойств горячекатаных листов из низколегированных трубных сталей. Автореферат соответствует диссертации и полностью отражает ее содержание. Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 7 статьях в журналах из списка ВАК (включая 1 статью SCOPUS) и докладывались/прошли апробацию на 8 всероссийских и международных конференциях.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» в пунктах 2, 3 и 4, 6.

Таким образом, диссертационная работа Е. В. Кожевниковой на соискание ученой степени кандидата технических наук полностью соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи, заключающейся в обеспечении требуемого комплекса потребительских свойств толстолистового проката за счет использования технологии мягкого обжатия непрерывнолитых слябов.

Автор диссертации Е. В. Кожевникова заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

заместитель главного металлурга

Акционерного общества

«Пермский научно-исследовательский технологический институт»,

кандидат технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Перцев Алексей Сергеевич

29.04.2021

614990, Пермь, Героев Хасана, 41

АО «ПНИТИ»

(342) 240-27-10 эл. почта: ogmet@pniti.ru

*Подпись* *Перцев АС* *удостоверен*

Начальник отдела кадров

*Н.В. Попова*

Н.В. Попова

29 АПР 2021