



УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)"

А.Л. Шестаков

15 апреля 2021 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
на диссертационную работу Кожевниковой Елены Васильевны  
на тему: «Изучение трансформации структурно-фазового состава  
толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения  
потребительских свойств», представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по научной специальности  
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов**

### Актуальность темы диссертационного исследования

На сегодняшний день потребители труб большого диаметра для транспортировки газа и нефти формируют четкие требования к трубной продукции, в результате чего возникает необходимость постоянной модернизации технологического процесса их производства, заставляя производителей всесторонне совершенствовать уровень потребительских свойств, включая необходимое сочетание структур и механические характеристики.

В Российской Федерации ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» является одним из ведущих производителей штрипсовой заготовки высоких категорий прочности, в том числе К60 и К65, для производства прямошовных труб большого диаметра и толщиной стенки до 40 мм, имеющий полный цикл производства трубной стали от выплавки в кислородных конверторах и непрерывной разливки слябов до прокатки на толстолистовом стане «5000» и термообработки. Применение целостного подхода к производству трубной заготовки, учитывающего наследование элементов литой структуры горячекатаным прокатом, точную оценку уровня ликвационной неоднородности сляба, влияние ликвации на структурную неоднородность трубного проката, способствует получению качественного непрерывнолитого сляба с формированием минимальной структурной и химической неоднородности со сниженной осевой сегрегацией, что создает благоприятные условия для получения структурно однородного толстолистового трубного проката с высокими показателями вязкости.

Сложность идентификации структурных составляющих в низкоуглеродистых низколегированных трубных сталях, получаемых после контролируемой прокатки с последующим регламентируемым охлаждением, является проблемным

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА
ФГБОУ ВО «НИИТ» им. Г.И. Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>30.04.2021</u>
Фамилия регистратора _____

вопросом ввиду формирования в толстолистовом прокате структур с различной морфологией и дисперсных фаз, количество которых зависит от особенностей легирования и режимов прокатки.

В диссертационной работе Кожевниковой Елены Васильевны «Изучение трансформации структурно-фазового состава толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения потребительских свойств» решаются современные научно-технические задачи всестороннего изучения структурообразования толстолистового трубного проката категорий прочности К60 и К65 в процессе производства. Проведены развернутый детальный анализ трансформации структуры сляба в структуру проката, получены новые научно обоснованные способы количественного определения величины осевой химической неоднородности в слябе и структурной неоднородности в толстолистовом прокате, позволяющие спрогнозировать механические характеристики при формировании потребительских свойств толстолистового проката в процессе производства, что, несомненно, является актуальной проблемой.

### Содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, изложена на 154 страницах текста (без приложений), содержит 109 рисунков, 16 таблиц, 3 приложения на 14 страницах.

Во **введении** показана актуальность работы, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В **первой главе** на основании литературных источников проведен анализ эксплуатационных требований к магистральным трубопроводам, изложены принципы структурообразования на каждом технологическом этапе производства трубной стали от выплавки до контролируемой прокатки и термообработки. Показаны особенности формирования структуры в трубных сталях и требования к ней, освещены вопросы, касающиеся сложности идентификации структурных составляющих. Дана оценка способов контроля химической и структурной неоднородностей в непрерывнолитом слябе и толстолистовом трубном прокате. На основании проведенного анализа корректно сформулирована цель и задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** представлен химический состав низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65, изучаемых в диссертации, описаны методы исследования структуры и свойств, используемые автором в работе, способы отбора проб и постановка проводимых лабораторных экспериментов.

В **третьей главе** приведены результаты исследования макро- и микроструктуры непрерывнолитого сляба трубных сталей категорий прочности К60 и К65 в соответствующих зонах кристаллизации. Выявлена структурная и химическая неоднородность осевой зоны сляба в виде осевой рыхлости (ОР) и осевой химической неоднородности (ОХН) различного балла, осевой ферритной полосы, увеличении содержания карбонитридных фаз относительно других зон кристал-



лизации сляба, проведен анализ этих фаз с использованием рентгенофазового анализа карбидного осадка и определены формулы карбидов. Отдельным разделом изучено влияние технологии мягкого обжатия сляба и проанализированы макроструктуры слябов, разлитых с применением технологии и без нее, показана эффективность использования технологии в отношении уменьшения дефектов ОХН и ОР. Выполненное исследование структурно-фазового состава слябов трубных сталей позволило разработать методику количественной оценки осевой химической неоднородности в сталях категорий прочности К60 и К65 на основе обработки большого количества реальных макроструктур слябов трубных сталей, использующей пятибалльную оценочную шкалу с ее цифровой обработкой в заданных интервалах значений доли ОХН в слябе.

**В четвертой главе** проанализированы, идентифицированы и наглядно представлены микроструктуры горячекатаных низколегированных трубных сталей категорий прочности К60 и К65, полученные после контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением на стане «5000» ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Выявлены различия структур в сталях категории прочности К60 и К65, определена микротвердость различных структурных составляющих.

Изучены виды структурной неоднородности, образующейся в различных по толщине участках в толстолистовом прокате. Показано, что природа осевой структурной неоднородности, представленной в виде мартенситно-ферритных полос в стали категории К60, определяется наследованием ликвационной неоднородности непрерывнолитого сляба. Другой вид структурной неоднородности – полосчатость, образованная ферритно-перлитными зернами, определяется соотношением температур  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения и температурным фронтом охлаждения проката. Определено, что крупные карбидные выделения в осевой части листа наследуются от сляба с некоторым уменьшением их размеров. В работе доказано положительное влияние технологии мягкого обжатия на повышение свойств проката. Путем промышленного эксперимента на достаточном количестве плавок показано повышение пластичности при испытании падающим грузом и повышение доли вязкой составляющей в изломе. По результатам исследования и анализа структур трубной стали категории прочности К60 разработана методика оценивания структурной неоднородности, путем создания шкалы реальных структур, образующихся при прокатке и охлаждения изучаемой стали, позволяющая контролировать качество толстолистового проката. Методика согласована с соответствующими службами ПАО «ММК» и принята к рассмотрению.

**Пятая глава** посвящена исследованиям температур нагрева под закалку и отпуска на структуру и твердость низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65. При изучении закаленных структур проанализировано формирование величины аустенитного зерна, показана корреляция значений твердости и количества остаточного аустенита, определены критические точки и величина прокаливаемости сталей. Подробно описана и проиллюстрирована микроструктура отпущенных трубных сталей исследуемых категорий прочности. По результатам исследования даны рекомендации по проведению термообработки листового трубного проката категорий прочности К60 и К65.

**Научная новизна работы** заключается в полученных результатах изучения и анализа изменений структурного и фазового состава трубных сталей категорий прочности К60 и К65 на всех этапах производства с определением влияния исходной литой на горячекатаную структуру трубного проката, которое выражается в появлении осевой ферритно-мартенситной и ферритно-бейнитной полосчатости толстых листов вследствие влияния осевой ликвации сляба и в наследовании карбидной фазы в осевой зоне проката в виде отдельных включений и включений, выделившихся на сульфидах, размером до 20 мкм. Сформулировано научно-обоснованное объяснение образования ферритно-перлитной полосчатости в трубном прокате категории прочности К60 по сечению листа. Установлено, что в толстолистовом прокате категории прочности К65, твердость бейнитной структуры ниже (HV 187-195), чем твердость структуры мелкозернистой ферритной матрицы (HV 203-258). Определено, что прокаливаемость до 8 мм низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65 недостаточна для технологии улучшения толстолистового проката.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что на основе исследования литых и горячекатаных структур низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65 разработаны и приняты к изучению на ПАО «ММК» методика количественного определения величины осевой химической неоднородности в темплете непрерывнолитого сляба из трубных марок сталей и методика оценки структурной неоднородности толстолистового трубного проката категории прочности К60. Доказана эффективность использования технологии мягкого обжата непрерывнолитого сляба для минимизации дефектов осевой химической неоднородности и осевой рыхлости сляба, что обеспечивает снижение структурной и химической неоднородностей в готовом прокате категорий прочности К60 и К65 и повышение значений его вязкости при испытаниях падающим грузом. На основании исследования критических точек фазового  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения для низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65 в работе определены температуры закалки и отпуска, которые позволяют сформулировать и рекомендовать режимы термической обработки толстолистового проката в условиях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», учитывая толщину проката.

### **Рекомендации по использованию работы**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в осуществлении образовательной деятельности при подготовке специалистов по направлению материаловедение и изучению металлургических дисциплин, а также в исследовательских и заводских контрольных лабораториях на предприятиях, производящих трубную сталь: ПАО «Челябинский металлургический комбинат», ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ПАО «Северсталь» и др.



## Замечания

1. В главе 3 приведены описание микроструктур непрерывнолитых слябов из сталей категорий прочности К60 и К65, но нет объяснения причины различия между структурами сталей категорий прочности К65 и К60.

2. В диссертации говорится о дендритной структуре непрерывнолитого сляба после кристаллизации, а на фотографиях представлена окончательная структура при комнатной температуре. Не отображено, каким образом происходит трансформация дендритной в конечную структуру сляба.

3. Не объяснен механизм повышения качества сляба при использовании технологии мягкого обжатия.

4. В главе 3 определяли влияния технологии мягкого обжатия на ликвацию в слябах из сталей различных категорий прочности, в том числе указана сталь DNV. Не понятно с какой целью приведена эта сталь, следовало бы привести данные по назначению и химическому составу стали данной категории прочности, так как диссертационная работа посвящена исследованию трубных сталей категорий прочности К60 и К65.

5. Нет объяснения почему в толстолистовом прокате в стали категории прочности К60 наблюдается перлитная полосчатость и ферритно-мартенситная в осевой зоне листа, а в стали К65 только бейнитная.

Указанные замечания не изменяют общей положительной оценки выполненных диссертационных исследований. Теоретические и практические результаты, полученные в работе, имеют важное научно-хозяйственное значение.

Диссертация изложена технически грамотно, полностью раскрывает сущность выполненного исследования, оформлена в соответствии с требованиями стандарта. Автореферат диссертации соответствует ее тексту и отражает содержание проведенных исследований и полученных результатов.

Результаты диссертационного исследования **опубликованы** в 22 научных трудах, в т.ч. 7 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, 3 статьи проиндексированы в наукометрической базе Scopus.

**Основные положения работы** представлены и обсуждены на XIX международной научно-технической конференции «Трубы-2011» (г. Челябинск, 2011 г.), VIII международном Конгрессе прокатчиков (г. Магнитогорск, 2010 г.), международной школе-семинаре «Фазовые и структурные превращения в сталях» (г. Магнитогорск, 2008, 2010 гг.), XIII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии» (г. Санкт-Петербург, 2014 г.), научно-техническом семинаре «Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов» (г. Москва, 2014, 2016 гг.), международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2019).

## Заключение

Диссертация Кожевниковой Елены Васильевны на тему: «Изучение трансформации структурно-фазового состава толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения потребительских свойств» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные разработки анализа структурных изменений низколегированных трубных сталей в процессе производства и оценки химической и структурной неоднородностей в слябе и толстолистовом трубном прокате.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842. Автор диссертационной работы - Кожевникова Елена Васильевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

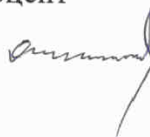
Диссертация и отзыв на работу рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Материаловедение и физико-химия материалов» (протокол № 8 от « 13 » апреля 2021 г.).

Заведующий кафедрой  
«Материаловедение и физико-химия материалов»  
доктор химических наук, доцент



Винник Денис Александрович

Профессор кафедры  
«Материаловедение и физико-химия материалов»,  
доктор физико-математических наук, доцент



Окишев Константин Юрьевич

454080, г. Челябинск,  
просп. В.И. Ленина, д. 76.  
Тел: 8(351) 267-90-13  
E-mail: okishevki@susu.ru

Подпись работников заверяю:

