

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., доцента
кафедры материаловедения и технологии материалов
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
Крыловой Светланы Евгеньевны

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

В последние годы в Российской Федерации реализованы крупные проекты по транспортировке нефти и газа в зарубежные страны. Параллельно ведется разработка и освоение действующих и новых месторождений, обеспечивается газификация отдаленных районов страны. Значимость этих программ огромна в государственном масштабе, что не вызывает сомнений. В связи с этим возрастает спрос на металл для изготовления труб большого диаметра, к которому предъявляются жесткие эксплуатационные требования, включающие высокую прочность, вязкость, пластичность, хладостойкость и свариваемость. Сочетание таких характеристик обеспечивается комплексным подходом к производству толстолистового трубного проката, включающим легирование карбонитридообразующими элементами, выплавку и непрерывную разливку металла с формированием высокой химической однородности сляба и регламентированным количеством неметаллических включений, а также получение дисперсной структуры на этапе контролируемой прокатки, содержащей в основе ферритную и перлитную/бейнитную фазы, в зависимости от категории прочности трубной стали. Наличие развитой ликвации в слябе, дефектов осевой рыхлости и осевой химической неоднородности существенно снижает потребительские свойства готового толстолистового проката, негативно отражаясь на его вязкости и пластичности. Поэтому работы, направленные на повышение качества проката из низколегированных сталей для обеспечения высоких эксплуатационных свойств, в том числе и представленная работа, несомненно актуальны.

В диссертационной работе Кожевниковой Елены Васильевны «Изучение трансформации структурно-фазового состава толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения потребительских свойств» проведено сквозное исследование структурно-фазового состава трубных сталей категорий прочности К60 и К65 по всем технологическим этапам их производства, что дает целостное понимание влияния начальной литой структуры сляба на горячекатаную структуру проката с учетом наследования сегрегационной

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	30.04.2021
Фамилия регистратора	_____

неоднородности химических элементов, в том числе карбонитридообразующих. Приведено описание и иллюстрации получаемых структур в процессе производства, что является значимой, насущной задачей ввиду сложности их идентификации в низколегированных трубных сталях.

На основе изучения структурно-фазового состава непрерывнолитых слябов и толстого проката категорий прочности К60 и К65, разработаны новые научно обоснованные способы количественного определения величины осевой химической неоднородности в слябе и способ определения структурной неоднородности в толстолистовом прокате, позволяющие спрогнозировать механические характеристики при формировании потребительских свойств толстолистового проката.

Автором также проработан вопрос, касающийся термообработки трубных сталей в виде отдельного нагрева под закалку с последующим отпуском, как возможной дополнительной технологической операции для повышения вязкости трубного проката, разработаны рациональные режимы закалки и отпуска сталей.

Учитывая вышеизложенное, тема диссертационной работы «Изучение трансформации структурно-фазового состава толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения потребительских свойств» Кожевниковой Елены Васильевны актуальна, проведенные исследования востребованы и полезны для теоретического и практического использования.

Структура и содержание диссертационной работы, ее завершенности и качества оформления. Соответствие публикаций и автореферата основным положениям диссертации

Рукопись диссертации 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.

Диссертация оформлена по общепринятой структуре.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показана степень её разработанности, сформулированы научная проблема и цель исследования, перечислены задачи исследования, сформулирована научная новизна работы, описана практическая значимость работы, определены положения, выносимые на защиту, обоснована степень достоверности, приведены сведения об апробации результатов исследования.

В первой главе соискателем проведен анализ литературных источников (рассмотрено 154 научных работы) по тематике диссертации. Изучены эксплуатационные требования и современные тенденции разработки сталей для труб большого диаметра, поэтапный процесс их производства от разливки до термообработки, а также влияние легирующих элементов и структурообразование на каждом технологическом переделе. Отмечена важность комплексного подхода к производству трубных сталей, связь литой и горячекатаной структур, а также влияние химической неоднородности в слябе на потребительские свойства готового проката. Показаны особенности формирования структуры в трубных сталях и требования к ней, освещена проблематика идентификации структурных составляющих, контроля химической и структурной неоднородностей в непрерывнолитом слябе

и толстолистовом трубном прокате. В работе проанализировано более 150 источников, включая книги и статьи, причем большинство рассмотренных работ были опубликованы в течение последних 10 лет.

Во **второй** главе представлены материал и методы исследования, используемые автором в диссертационной работе. Соискатель применяет многочисленные разнообразные методы исследования структуры и свойств трубных сталей, используя современное оборудование, включающее световые, растровые и просвечивающие микроскопы, оборудование для механических испытаний, программы анализа изображения, способ получения карбидного осадка и анализ его фазового состава. Хотелось бы отметить, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне с использованием самых современных экспериментальных методов исследования (в частности, с применением рентгеноструктурного анализа, высокоразрешающей растровой электронной микроскопией и др.).

В **третьей** главе содержатся экспериментальные результаты работы по изучению структурно-фазового состава непрерывно-литого сляба трубных сталей категорий прочности К60 и К65, приведен анализ макро- и микроструктуры в зонах его кристаллизации, указаны различия в зависимости от категории прочности стали. Показаны особенности структуры осевой зоны слябов, выраженные в структурной неоднородности в виде «белой» полосы (понятие, введенное автором), наличии дефектов осевой рыхлости (ОР) и осевой химической неоднородности (ОХН), увеличении содержания карбидной фазы относительно других зон кристаллизации сляба. В отдельном разделе работы содержатся материалы с описанием и идентификацией карбидной и нитридной фаз, определены их формулы. Проведен сравнительный анализ макроструктуры, оценка ОХН и ОР слябов, разлитых с применением технологии мягкого обжатия и без нее, доказана эффективность технологии мягкого обжатия слябов. Оценено поведение основных ликвирующих элементов – серы и фосфора – при применении мягкого обжатия слябов трубных сталей и выявлено, что использование данной технологии приводит к повышению их концентрации в последнем слябе плавки. По результатам выполненного исследования структурно-фазового состава слябов трубных сталей соискателем предложена компьютерная методика количественной оценки осевой химической неоднородности в сталях категорий прочности К60 и К65, основанная на сформированной пятибалльной оценочной шкале из реальных макроструктур слябов трубных сталей с ее цифровой обработкой и полученными интервалами значений доли ОХН в слябе.

В **четвертой** главе диссертации представлен анализ и идентификация горячекатаных микроструктур толстых листов категорий прочности К60 и К65 толщиной до 30 мм после контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением. Проиллюстрированы ферритно-перлитные и ферритно-бейнитные структуры, дана оценка карбидной составляющей, выявлена полосчатая структура в осевой зоне проката. Представлен новый взгляд на формирование перлитной полосчатости в стали категории прочности К60, основанный на послойном перераспределении углерода при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении в процессе охлаждения толстолистового трубного проката, что исключает влияние дендритной ликвации на образование перлитной полосчатости. Доказана трансформация химической неоднородности сляба в

структурную неоднородность горячекатаного проката, сформированную в виде ферритно/бейнитно-мартенситной осевой полосчатости в трубных сталях категорий прочности К60 и К65. Проведено совокупное исследование влияние технологии мягкого обжатия на структурную неоднородность и свойства трубного проката из слябов, разлитых с использованием технологии и без нее, и показан положительный эффект при испытаниях падающим грузом с увеличением доли вязкой составляющей в изломе толстолистого проката при применении мягкого обжатия слябов. В диссертационной работе разработана методика оценки структурной неоднородности, взаимосвязанной с остаточной химической неоднородностью для толстолистого проката категории К60, в основе которой предложена шкала из структур толстолистого трубного проката, характеризующая наличие, вид и степень остаточной химической неоднородности с пятиступенчатой градацией по виду структурной неоднородности.

В пятой главе представлено исследование влияния температур закалки и отпуска на структуру и твердость низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65, определены критические точки и величина прокаливаемости сталей. На основании данных о прокаливаемости сделан вывод о целесообразности проведения термической обработки для горячекатаного проката толщиной не более 20 мм. По итогам проведенных исследований определены температуры закалки и отпуска низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65 и даны рекомендации по проведению термообработки листового трубного проката.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам диссертационной работы.

В приложениях приведены:

- методика оценки (контроля) макроструктуры непрерывнолитого сляба для трубных сталей категорий прочности К60 и К65 с оценочной шкалой;
- методика оценки (контроля) осевой структурной неоднородности сравнением с эталонной шкалой микроструктуры для трубной стали категории прочности К60;
- лист согласования об использовании разработанных методик в производстве толстолистого проката в ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Таким образом, содержание диссертации охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается следующими обстоятельствами:

- системностью, последовательностью, согласованностью, логичностью и непротиворечивостью изложения результатов;
- обоснованностью актуальности темы исследования, структуры диссертации, концепции и программы исследования;
- взаимоувязанной методологической платформой и концептуальными решениями;
- взаимосвязью основной идейной линии, частных и общих выводов.

В целом работа обладает научной новизной и практической значимостью, выполнена на высоком методическом и теоретико-экспериментальном уровне.

Содержание автореферата объемом 1 печатный лист соответствует содержанию диссертации; в автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационных исследований

Научную новизну диссертационной работы Кожевниковой Елены Васильевны можно сформулировать следующим образом:

1. Проанализирован полный цикл производства низколегированных сталей категорий прочности К60 и К65 от выплавки и разливки до горячей прокатки с точки зрения металловедческого аспекта с подробным изучением, описанием и идентификацией типов структур.

2. Выявлены структурные связи между литой и горячекатаной структурой трубного проката, проявляющиеся в формировании ферритно-мартенситной и ферритно-бейнитной полосчатости толстых листов, вследствие влияния осевой ликвации сляба, а также в наследовании карбидной фазы в осевой зоне проката в виде отдельных включений и включений, выделившихся на сульфидах, размером до 20 мкм.

3. Представлен новый научно-обоснованный подход к образованию полосчатой перлитной структуры в толстолистовом прокате категории прочности К60.

Наибольшую значимость для практики имеют следующие результаты диссертационной работы:

1. Разработаны и внедрены методика количественного определения величины осевой химической неоднородности в темплете непрерывнолитого сляба из трубных марок сталей, а также методика оценки структурной неоднородности толстолистового трубного проката категории прочности К60, позволяющие оперативно контролировать и своевременно рекомендовать мероприятия, направленные на минимизацию данных структурных несовершенств, влияющих на механические свойства трубного проката.

2. Обосновано применение технологии мягкого обжата непрерывнолитого сляба с целью повышения равномерности химического состава по его толщине и снижения дефектов осевой химической неоднородности и осевой рыхлости сляба, что способствует повышению вязкости толстолистового проката категорий прочности К60 и К65 за счет снижения структурной и химической неоднородностей в готовом прокате.

3. Определены температуры закалки и отпуска низколегированных сталей К60 и К65, величина прокаливаемости, критические точки фазового $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, на основании чего даны рекомендации по проведению термической обработки толстолистового проката категорий прочности К60 и К65 в условиях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», учитывая толщину проката.

Достоверность научных положений и рекомендаций

Полученные результаты диссертационной работы не противоречат имеющимся данным других исследователей и современным теоретическим представлениям металловедения и термической обработки. Степень достоверности основных результатов подтверждается применением современных методов исследования и корректной постановкой цели и задач исследования, основанных на использовании действующих требований к структуре, эксплуатационным свойствам и технологии производства низколегированных трубных сталей.

По теме диссертации опубликовано 22 научные публикации, в т.ч. 7 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, 3 статьи проиндексированы в наукометрической базе Scopus, что свидетельствует о новизне результатов исследования и об ознакомлении её широким кругом научной и инженерно-технической общественности.

Результаты апробации диссертационной работы подтверждаются представлением и обсуждением на школах семинарах и конференциях различного уровня, в том числе VIII Конгресс прокатчиков (г. Магнитогорск, 2010 г.), XIX международная научно-техническая конференция «Трубы-2011» (г. Челябинск, 2011 г.), XIII Международная конференция молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии» (г. Санкт-Петербург, 2014 г.), Научно-технический семинар «Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов» (г. Москва, 2014, 2016 гг.), Международные научно-технические конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2019).

Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация изложена грамотным научным языком, обладает единством и логикой построения, полностью раскрывает сущность выполненного исследования, содержит теоретические обоснования полученных автором результатов и описание их практической реализации, оформлена в соответствии с установленными требованиями. Полученные результаты и выводы соответствуют поставленным в диссертации цели и задачам. Тема и содержание диссертации соответствуют научной специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на авторов и источники заимствования.

Замечания

1. Для более точного анализа приведенных оптических макро и микроструктур желательно нанесение соответствующей шкалы на изображение, а не указание кратного увеличения в подрисуночной надписи. К сожалению, на многих фотографиях структур (рисунки 2 а; 3.2 а, б; 3.3. в, г; 3.12-3.14; 3.18 б, 3.42,

3.46 и др.) размерная линейка отсутствует.

2. В автореферате на стр. 13 сказано, что применение мягкого обжатия повышает количество вязкой структурной составляющей в изломе при испытании ИПП, но ни в автореферате, ни в диссертации не приведены фото изломов, которые бы наглядно подтвердили данное утверждение дополнили бы информацию по испытаниям ИПП и ударную вязкость.

3. В работе при описании методики оценки осевой химической неоднородности указано, что для объективной и точной оценки ОХН следует повысить качество темплета макроструктуры. Однако конкретных рекомендаций, позволяющих выполнить данное условие не приведено, что было бы полезным для пользователей данной методики на предприятиях.

4. Оценка макроструктуры непрерывнолитых слябов, согласно таблице 3.4, для сталей категории прочности К60 и К 65 осуществляется по осевой рыхлости (ОР) и осевой химической неоднородности (ОХН). Автором предложена методика оценки по ОХН, в которой не указано, включает ли предложенная методика оценку осевой рыхлости. Данными структурными несовершенствами при пользовании методикой пренебрегают или относят их к общему фону ОХН?

5. При описании предложенной методики автором используется термин «плотность залегания точек ОХН». По факту, определяется оцифрованное изображение поверхностной доли неоднородности по площади, которая не может корректно учесть плотность и глубину залегания дефекта. На мой взгляд, данный момент нуждается в пояснении автора.

6. На фотографиях микроструктур, полученных ПЭМ (рис. 4.3 в, г и 5.22 г) представлены карбидные фазы, однако отсутствуют электронограммы, позволяющие их идентифицировать и понять механизм упрочнения конкретными карбидными включениями, особенно на стадии вторичного твердения при термической обработке в интервале отпуска 300-450 °С и 550-600 °С.

7. Оптимальная температура отпуска 450 °С установлена преимущественно по результатам металлографических исследований, дополненных значениями твердости и микротвердости. Тем не менее, автором в выводе 5 сказано, что для ожидаемого повышения вязкости с сохранением прочности, рекомендуется термическая обработка проката в виде закалки от 900 и 930 °С для К60 и К65, соответственно, и отпуск при 450 °С. Было бы уместным определить, каковы при рекомендованных режимах конкретные механические свойства (σ_T , σ_B , δ_5 , KCV), соответствуют ли они значениям, заявленным потребителем.

Заключение

Указанные замечания не снижают ценности и значимости выполненных исследований, носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы, отражающую ее актуальность, научную новизну и практическое использование результатов при производстве низколегированных трубных сталей.

Диссертация Кожевниковой Елены Васильевны на тему: «Изучение трансформации структурно-фазового состава толстолистового проката из низколегированных сталей для обеспечения потребительских свойств» является завершённой

научно-квалификационной работой. Основываясь на проведенных исследованиях, автор решает актуальные научные задачи – анализ и описание структурных изменений в низколегированных сталях в процессе производства и модернизацию способов 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, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. 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.

Официальный оппонент
Доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры материаловедения
и технологии материалов
ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный университет»

Крылова Светлана Евгеньевна
«29» апреля 2021 г.

Шифр научной специальности: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

460018, г. Оренбург,
просп. Победы, д. 13
Тел: +7 9068368537
E-mail: krilova27@yandex.ru

Подпись и данные места работы С.Е. Крыловой заверяю:

Подпись Крыловой С.Е.
заверяю
Ведущий специалист по
документационному обеспечению
работы с персоналом
И.И. Димитриев

