

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу С.В.Коротовской «Разработка технологии термомеханической обработки, обеспечивающей унификацию судостроительных и трубных сталей по химическому составу за счет формирования ультрамелкозернистой и субмикросталлической структуры», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Работа обусловлена необходимостью комплексного обустройства месторождений Арктического шельфа России. Отечественные металлурги за последние десять лет выполнили масштабную модернизацию оборудования для выплавки и прокатки листового проката. Это позволило обеспечить качество хладостойких материалов для судостроения и труб большого диаметра на уровне лучших мировых аналогов производства Евросоюза и Японии. И, если стали для труб большого диаметра также конкурентоспособны по ценовой политике и успешно выдерживают экспансию на внутренний рынок, то материаловедение отечественных судостроительных сталей в своей практике ориентировалось на прошлые поколения оборудования и компенсацию этого избыточным легированием. В связи с этим, значительная доля потребляемого листового проката для судостроения поставлялась зарубежными производителями. Поэтому диссертация Коротовской С.В., направленная на разработку новой технологии производства листового проката для судостроения с использованием экономичного унифицированного с трубными сталями химического состава, является крайне своевременной и актуальной.

Научной основой работы является идеология управляемого формирования ультрамелких зерен с развитой субструктурой за счет управления конкурирующими процессами упрочнения и разупрочнения при деформации (включающие фрагментацию и рекристаллизацию).

В диссертационной работе представлены результаты, обеспечившие разработку новой технологии производства судостроительных сталей с пределом текучести 420-460 МПа, унифицированных по химическому составу с трубными сталями категории К65. Четко определены цели и задачи, сформулированы и обоснованы положения, обладающие научной новизной.

Новизна результатов заключается в установлении влияния пластической деформации на кинетические особенности формирования структуры, показавшие, что в марганцевой стали высокое сопротивление хрупким разрушениям обеспечивается при формировании квазиоднородной феррито-бейнитной структуры с размером структурного элемента 2-4 мкм с долей малоугловых границ $8-10^\circ$ в количестве 20-25%. Ключевым фактором, определяющим формирование такой структуры является схема деформации при температурах на 150-200°C ниже температуры рекристаллизации.

Разработаны термдеформационные условия для измельчения структуры при изготовлении толстолистного проката низкоуглеродистых низколегированных сталей, заключающиеся в регламентации дробности и формировании температурного градиента. Установлены корреляционные зависимости для определения структурно-механического состояния высокопрочных сталей в зависимости от уровня легирования и технологических параметров производства.

Выявленные взаимосвязи структуры и термдеформационных условий (температура, степень и дробность деформации, скорость охлаждения) позволили разработать режимы термомеханической обработки для изготовления трубной и судостроительной стали из слэбов единого химического состава, получившие конкретное практическое применение в условиях действующего производства Магнитогорского металлургического комбината.

При выполнении работы автором последовательно решены следующие задачи:

1. Установлены количественные зависимости параметров конечной структуры от температуры, степени и дробности деформации;

2. Разработан химический состав судостроительных сталей с пониженным содержанием легирующих и микролегирующих элементов, унифицированный с трубными сталями категории К65;
3. Разработана термомеханическая обработка для производства судостроительных и трубных сталей, обеспечивающая формирование ультрамелкозернистой структуры на стане 5000.
4. Изготовленная продукция была сертифицирована и обеспечено производство промышленных партий листового проката.

Работа хорошо структурирована, состоит из введения, шести глав и выводов и представляет собой законченную работу. Изложена на 204 листах, содержит 101 рисунок и 16 таблиц, представлены ссылки на 113 литературных источников.

В первой главе проведен тщательный анализ существующих литературных данных о достоинствах УМЗ и СМК структуры и способах их формирования. Рассмотрены современные способы изготовления листовых прокатов и процессы, протекающие в низколегированных сталях при термомеханической обработке, на основании которого автором были выявлены основные пути развития технологий производства листового проката с целью измельчения структуры до УМЗ и СМК.

В главе два описаны применяемые материалы и методика исследований. Выбрано 5 химических составов, отличающихся содержанием никеля, хрома, молибдена и титана. Обоснован выбор оборудования для проведения структурных исследований и моделирования стадий технологического процесса, что позволяет корректно и достоверно оценить качество разрабатываемой продукции.

В третьей главе диссертации построены термокинетические диаграммы фазовых превращений сталей с различным уровнем легирования основных элементов. Анализ кинетических кривых распада аустенита после ускоренного охлаждения показал, что влияние деформации на структурное состояние

очень отличается в зависимости от уровня легирования стали. Определен химический состав стали наиболее «восприимчивый» к влиянию пластической деформации, позволяющий максимально использовать преимущества пластической деформации для измельчения структуры.

В четвертой главе с использованием метода дифракции обратно рассеянных электронов установлены количественные зависимости термдеформационных параметров и конечной структуры после фазового превращения при ускоренном охлаждении, на основе которых был предложен ключевой фактор, определяющий формирование ультрамелкозернистой и субмикросталлической структуры, а именно схема деформации при температурах на $\sim 150^{\circ}\text{C}$ ниже температуры рекристаллизации. Наиболее интересным с практической точки зрения являются зависимости, которые позволили определить граничные условия формирования структуры в низколегированных сталях и позволили в широком диапазоне скоростей охлаждения формировать идентичные структуры по морфологии.

В пятой главе выбранный химический состав, унифицированный с трубной сталью, применяемой для штрипса класса прочности K65, использован для моделирования термомеханической обработке на пластометре GLEEBLE 3800 по нескольким режимам с варьированием температурных и деформационных параметров чистовой прокатки и определен наиболее подходящий для судостроительных и трубных сталей. Произведена адаптация разработанных режимов ТМО для промышленных условий Магнитогорского металлургического комбината. Предложен интересный способ определения прохождения динамической рекристаллизации, основанный на изменении температуры фазовых превращений и характера кинетических кривых при дилатометрических исследованиях.

В шестой главе проводятся сертификационные испытания по программе утвержденной Российским морским регистром судоходства. Проведены всесторонние исследования характеристик работоспособности листового проката.

та, изготовленных по разработанным режимам термомеханической обработки.

В ходе работы было доказано, что управление процессами структурообразования при термомеханической обработке с учетом влияния химического состава и состояния аустенита перед фазовым превращением позволяет получать требуемый комплекс механических свойств низколегированных низкоуглеродистых сталей массового применения, в частности, листового проката для судостроения и производства труб для новых трубопроводов.

Автор получил следующие результаты, обладающие научной новизной: разработаны критические термдеформационные параметры термомеханической прокатки, варьирование которых позволяет из слэбов одного химического состава изготавливать судостроительные и трубные стали с различными механическими свойствами; определены параметры структуры, которые обеспечивают высокую хладостойкость судостроительных сталей с гарантированным пределом текучести 420-460 МПа.

Практическая значимость работы состоит в разработке технологии производства листового проката из высокопрочных хладостойких судостроительных сталей с пределом текучести 420-460 МПа с химическим составом, унифицированным с трубными сталями класса прочности в толщинах до 50 мм на толстолистовом прокатном стане «5000» ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» по технологии термомеханической обработки.

Достоверность результатов работы подтверждена высоким качеством листового проката и высокой работоспособностью сталей при сертификационных испытаниях. Результаты выполненных испытаний показали, что характеристики листового проката полностью соответствуют требованиям Российского морского регистра судоходства. Разработанная технология производства судостроительных и трубных сталей унифицированного химического состава позволила снизить ресурсо- и энергозатраты. Внедрение результатов работы осуществлено на ОАО «ММК».

Замечания по работе:

1. Химический состав исследуемых сталей описан не полностью, в частности не указано содержания азота, не уточнено содержание ниобия (только его суммарное содержание с ванадием), что не позволяет корректно оценить его вклад в измельчение зерна в лабораторных экспериментах.

2. Различия исследуемых химических составов 1 и 2 незначительны (отличия только в сумме меди и никеля), что подтверждается сходными ТКД. Возможно не имело смысла их сравнивать. Основной вклад в разницу дисперсности структуры между вариантом 1 и вариантом 2 внесло, по всей видимости, различное содержание ниобия.

3. Не исследована дробность деформации в диапазоне от 2% до 7%, что важно с практической точки зрения, так как подобный режим может быть использован на маломощных толстолистовых станах или при производстве проката повышенных толщин;

4. При прокатке листов повышенной толщины деформация по высоте очага распределяется неравномерно и сосредоточена в привалковых слоях. В то же время в осевой части деформация даже меньше, чем средняя по сечению. В связи с этим заявленная деформация может не проникнуть вглубь раската, что перекликается с замечанием 3.

Аналогично и по скорости ускоренного охлаждения в осевой части раската заявленные скорости охлаждения могут быть не достигнуты и быть значительно ниже среднемассовых скоростей.

В этой связи утверждение автора (Выводы по главе 4, вывод 4) о том, что заявленный регламент дробности деформации и скорости охлаждения обеспечивает ультрамелкозернистую структуру по всей толщине проката не относится к спектру повышенных толщин проката. Границы по толщине листов из исследуемых химических составов должны быть определены дополнительным исследованием напряжённо-деформированного состояния очага деформации и расчетом скорости ускоренного охлаждения по толщине листа.

5. С практической точки зрения не всегда целесообразен поиск наиболее восприимчивого к влиянию пластической деформации химического состава ввиду возможного сужения «технологического окна» и потере воспроизводимости при промышленном производстве.

Сделанные замечания не снижают положительной оценки работы, так как не затрагивают ее основных положений.

Аннотация отражает основное содержание работы. Результаты работы имеют большое значение для дальнейшего применения отечественных материалов и конкуренции с зарубежными аналогами.

Диссертация Коротовской С.В. посвящена решению важной и актуальной проблемы, выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что диссертация удовлетворяет требованиям ВАК (п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней №842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Коротовская Светлана Владимировна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

Главный специалист по исследованиям
ИТЦ ОАО «Выксунский металлургический завод»

К.Т.Н.



Ильинский Вячеслав Игоревич

ОАО «ВМЗ», 607060, Нижегородская обл.,
г. Выкса, ул. Братьев Баташевых, д.45
8(83177)95439

ilinskij_vi@vsw.ru

Подпись Ильинского В.И. заверяю

Директор по персоналу ОАО «ВМЗ»



Валитов Ринат Булатович

