

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Холодного Алексея Андреевича

«Повышение сопротивления водородному растрескиванию листов из трубных сталей на основе управления структурообразованием в центральной сегрегационной зоне при термомеханической обработке»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Важными отраслями промышленности России, во многом обеспечивающими развитие экономики нашей страны, являются нефте- и газодобывающие отрасли, а также предприятия черной металлургии по производству листов и рулонного проката для труб, предназначенных для транспортировки природного газа и нефти. В связи с ростом потребности в углеводородах и истощением традиционных районов их добычи в настоящее время наблюдается тенденция к разработке ранее считавшихся непригодными для эксплуатации месторождений нефти и природного газа с повышенным содержанием примеси сероводорода. Строительство систем магистральных трубопроводов, предназначенных для транспортировки агрессивных сероводородсодержащих углеводородов и обеспечение их эксплуатационной надежности, обуславливает необходимость разработки и освоения массового промышленного производства проката для труб, стойких против коррозионного растрескивания под воздействием водорода. Проблема производства качественного рулонного и листового проката, изготовленного из непрерывно-литых слябов, с повышенными требованиями по стойкости к коррозионному растрескиванию в H_2S -содержащих средах в настоящее время относится к наиболее насущным задачам для многих производителей листов и труб. Именно поэтому считаю, что поставленные соискателем в диссертационной работе цель и задачи научных исследований, направленные в конечном итоге на решение непростого вопроса по освоению технологии промышленного производства толстых листов категорий прочности X52-X65 с требованиями по стойкости против водородного растрескивания, имеют бесспорную актуальность, а полученные в работе результаты высокую научную и практическую значимость.

В литературном обзоре диссертации достаточно подробно проанализированы данные работ других авторов, в которых изложены современные представления о механизмах образования трещин водородного происхождения, факторах, влияющих на сопротивление водородному растрескиванию низкоуглеродистых микролегированных трубных сталей, и металлургические аспекты технологии производства толстых листов, предназначенных для изготовления труб в сероводородостойком исполнении. Автором

отмечено отсутствие комплексных исследований по изучению влияния химического состава и режимов термомеханической обработки с последующим ускоренным охлаждением раскатов на структуру центральной сегрегационной зоны, механические свойства и стойкость к водородному растрескиванию листов из низкоуглеродистых микролегированных ниобием и титаном сталей с пониженным содержанием марганца.

В диссертационной работе после различных вариантов термомеханической обработки проведены комплексные подробные исследования по влиянию технологических параметров на характеристики микроструктуры, механические свойства, стойкость листов к водородному растрескиванию и сульфидному растрескиванию под напряжением в соответствии с отечественными и зарубежными стандартами. Исследования структуры осевой зоны и основного металла листов проведены с использованием оптической, растровой электронной и просвечивающей электронной микроскопий, дополняющие друг друга и позволившие автору получить достоверные результаты при идентификации структурных составляющих и интерпретации полученных данных. Для моделирования термомеханической обработки и изучения кинетики распада горячедеформированного аустенита в работе использован дилатометрический метод анализа. Этот метод позволил автору установить взаимосвязь влияния скорости охлаждения и химического состава на структуру и прочность исследуемых сталей. В работе на основании лабораторного моделирования установлено, что при использовании одинаковых режимов имитации термомеханической прокатки и скоростей последеформационного охлаждения в порядке по возрастанию изменения следующих систем легирования: Cr → Cr+Ni+Cu → Cr+Ni+Cu+Mn → Cr+Ni+Cu+Mo происходит увеличение твердости, которая характеризует повышение прочности исследуемых сталей за счет роста в конечной структуре количества бейнита и уменьшения объемной доли ферритной составляющей.

Полученные результаты моделирования в лабораторных условиях по влиянию химического состава стали на прочность подтверждены промышленным опробованием в условиях толстолистового стана 3600. Автором показано, что при испытании на растяжение стандартных образцов от листов промышленного производства, изготовленных по одинаковым режимам термомеханической прокатки с завершением деформации в аустенитной области и последующим ускоренным охлаждением со скоростью $22 \div 28^\circ\text{C}/\text{с}$ в интервале температур от $\text{Ar}_3 + (10 \div 30)^\circ\text{C}$ до $500 \div 540^\circ\text{C}/\text{с}$, предел текучести и временное сопротивление разрыву для стали с добавкой хрома соответствовали категории прочности X52, для стали системы легирования Cr+Ni+Cu была получена категория прочности X60, для сталей одновременно легированных Cr+Ni+Cu+Mn, а также Cr+Ni+Cu+Mo достигалась категория прочности X65.

Интересными представляются результаты по изучению сопротивления водородному растрескиванию различных зон двух листов толщиной 20 мм из стали 07ГХНДФБ, изготовленных по различным режимам термомеханической прокатки с последующим ускоренным охлаждением раскатов с одинаковой скоростью $22 \div 28^\circ\text{C}/\text{с}$, отличающихся температурой завершения прокатки, начала и завершения ускоренного охлаждения. Для листа №1 температуры завершения деформации и начала ускоренного охлаждения были выше критической температуры $A_{г3}$, в отличие от листа №2, для которого эти температуры лежали ниже температуры начала распада деформированного аустенита. Кроме этого, для листа №1 прерывание ускоренного охлаждения происходило при 550°C (выше температуры завершения бейнитного превращения), а лист № 2 – при 415°C (ниже температуры завершения бейнитного превращения). От обоих листов провели НИС-испытание двух типов образцов - полнотолщинных и толщиной 8 мм - от основного металла, в которых отсутствовала осевая сегрегационная неоднородность. Показано, что за счет применения ускоренного охлаждения в обоих случаях в основном металле формировалась дисперсная однородная структура, показавшая высокую стойкость к водородному растрескиванию. В образцах толщиной 8 мм, вырезанных из основного металла рассматриваемых листов, зарождение трещин водородного происхождения не происходило. При испытании полнотолщинных образцов трещины после НИС-испытания наблюдались только в осевой зоне в образцах от листа №2, в результате формирования грубых прочных протяженных областей повышенной твердости. Таким образом, показано, что режимы термомеханической контролируемой прокатки, параметры ускоренного охлаждения оказывают существенное влияние на структурообразование и сопротивление водородному растрескиванию в осевой зоне листов. Установлено, что наиболее благоприятной для стойкости против водородного растрескивания является структура, представляющая собой дисперсную ферритную матрицу с равномерно распределенными высокоуглеродистыми структурными составляющими.

На основании полученных результатов автор далее в своей работе провел многочисленные исследования по изучению влияния различных схем деформационно-термической обработки на структуру, механические свойства и стойкость против водородного растрескивания и определил для сталей различных систем легирования оптимальные технологические параметры, обеспечивающие при производстве листов формирование в основном металле и осевой зоне листов однородной структуры, представляющей собой ферритную матрицу с равномерно распределенными высокоуглеродистыми структурными составляющими.

Характеризуя диссертационную работу в целом, следует отметить, что автор использует принятую в современном научном кругу методологию изложения материала.

Работа представляется цельным и всесторонним исследованием. Основные научные положения и выводы достаточно аргументированы. Несомненной научной новизной обладает обнаруженное одновременное положительное влияние небольших добавок молибдена в количестве 0,15% на прочность и сопротивление водородному растрескиванию листов при снижении температуры окончания ускоренного охлаждения от 560°C до 420°C по сравнению с листами из стали без молибдена. Также к научной новизне следует отнести определенные в работе концентрации углерода, марганца в сочетании с режимом термомеханической прокатки и последеформационного охлаждения, обеспечивающие формирование низкой степени центральной сегрегационной структурной неоднородности и высокой стойкости листов водородному растрескиванию. Сказанное выше характеризует рецензируемую диссертационную работу с положительной стороны. Вместе с тем необходимо сделать следующие замечания:

1. Вызывает сомнение правильность идентификации микроструктуры, состоящей из реек α -фазы с включениями остаточного аустенита по границам реек, классифицированной автором как «низкоуглеродистый реечный мартенсит» (стр. 67, рис. 3.10 и далее по тексту). Исходя из известных представлений о механизмах образования мартенсита и бейнита, а также наблюдаемых морфологических признаков рассматриваемой структурной составляющей, ее следовало бы идентифицировать в качестве «вырожденного реечного бейнита».

2. При исследовании поверхности разрушения водородной трещины в осевой зоне листа автором не обнаружены деформированные сульфиды марганца и карбонитридные включения ниобия и титана (стр. 81, рис. 4.7), что является нехарактерным для листов, произведенных из непрерывнолитых слябов сталей, микролегированных ниобием и титаном. Возможно, что для обнаружения этих неметаллических включений в осевой зоне необходимо было проведение большего количества фрактографических исследований водородных трещин.

3. Высокая чистота стали по неметаллическим включениям, их незначительные размеры и глобулярная форма позволили автору исключить их из числа факторов, оказывающих существенное влияние на сопротивление листов водородному растрескиванию (стр. 83). Однако в работе не описаны технологические решения, позволившие достичь столь высокого уровня качества по загрязненности неметаллическими включениями осевой зоны рассматриваемых листов, что является весьма актуальной проблемой на многих металлургических предприятиях даже при использовании низкоуглеродистых микролегированных сталей с пониженным содержанием марганца (0,60-0,80%) и серы не более 0,001%.

4. Не понятен механизм снижения твердости осевой зоны листов из стали 07Г1ХНДФБ (рис. 5.22, а) при переходе от феррито-перлитной микроструктуры после

ускоренного охлаждения до 610°C к феррито-бейнитной микроструктуре после ускоренного охлаждения до 500°C. Хорошо известно, что бейнит по сравнению с перлитом является более прочной структурной составляющей, поэтому полученные результаты требуют проверки или проведения дополнительных исследований.

5. На графиках, показывающих влияние химических элементов и режимов ускоренного охлаждения на твердость основного металла и осевой зоны и показатели стойкости против водородного растрескивания листов (CLR, CTR, CSR), следовало бы указать доверительный интервал для средних значений.

Высказанные замечания не умаляют положительных результатов и значимости рассматриваемой диссертационной работы, так как не затрагивают ее основные положения и выводы. Результаты работы достаточно широко опубликованы в научной печати, обсуждены на конференциях, семинарах и заседаниях. Автореферат диссертации адекватно отражает ее содержание. В целом рецензируемая диссертация Холодного Алексея Андреевича является законченной научно-исследовательской работой, содержащей совокупность значимых для науки и металлургической промышленности результатов, полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:
Заведующий лабораторией металловедения
Центра исследовательских лабораторий
Инженерно-технологического центра
АО «ВМЗ», кандидат технических наук



Багмет Олег Александрович

06.09.2016

607060, Нижегородская обл., г. Выкса,
ул. Братьев Баташевых, д. 45
тел.: +7 (83177) 9-54-41, email: bagmet_oa@vsw.ru

Подпись О.А. Багмета заверяю
Директор по персоналу АО «ВМЗ»



Дружкова Татьяна Валентиновна