

На правах рукописи

АСКЕРОВ ХАНГАРДАШ АДГЕЗАЛ ОГЛЫ

Аскеров

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ
И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА ХРУПКУЮ ПРОЧНОСТЬ
МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ
ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Специальность 05.02.01 - материаловедение в машиностроении

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



00360461 (К)

В. Д. Д.

Работа выполнена на кафедре технологии металлов Днепропетровского
строительного института.

Научные руководители— академик АИН Украины
доктор технических наук,
В.И. Большаков
старший научный сотрудник,
кандидат технических наук
С.М. Антонов

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Ю.Я. Мешков
кандидат технических наук, доцент
В.К. Флоров

Ведущая организация— Днепропетровский завод металлоконструкций им. И.В.
Бабушкина.

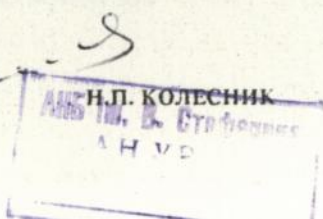
Защита состоится "10" ⁰² 1993 года в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К. 068. 32. 03 Днепропетровского инженерно-строительного института по адресу:

320600, г.Днепропетровск, ул. Чернышевского 24-а, ДИСИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "22" декабря 1992г.

Ученый секретарь
специализированного совета
к. т. н., доцент



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Технологическая возможность и экономическая целесообразность широкого применения в строительстве взамен низколегированных сталей распространенных малоуглеродистых сталей, прошедших термическое упрочнения, ставит перед исследователями ряд серьезных проблем. В первую очередь это, естественно, проблемы их универсального применения в конструкциях, что определяется стабильностью свойств стали и ее сопротивляемостью хрупким разрушениям.

Рассмотрение малоуглеродистой стали типа ВСтЗсп в качестве первоочередного объекта термического упрочнения связано с подавляющим объемом ее использования (более 70 процентов) в строительстве. В последние годы в связи с перспективой широкого использования термоупрочненных с прокатного нагрева малоуглеродистых сталей их целенаправленным изучением занимаются ведущие научные коллективы. В тоже время систематических исследований, посвященных особенностям структуры таких сталей в связи с их хрупкой прочностью не проводилось.

Такое положение, а также нацеленность внедрения термоупрочненных сталей в конструкциях с требованиями повышенной надежности делает задачу исследований актуальной.

Диссертационная работа выполнялась как составная часть научно-исследовательских работ кафедры технологии металлов ДИСИ, включенных в Комплексную программу научных исследований и опытно-промышленных работ по созданию прогрессивных процессов производства высокопрочных видов проката и повышения эффективности их использования в строительстве Минчермета Украины. Отраслевую программу расширения производства термически

обработанного проката на период до 2000 года Минчермета Украины и Задание Минмонтажспецстроя Украины на проведение важнейших научно-исследовательских работ в 1986-1990 годах.

Цель работы - исследование влияния термической и термомеханической обработки на крупную прочность малоуглеродистой стали для установления путей обеспечения высокой сопротивляемости крупному разрушению и температурных границ ее применения.

Указанная цель достигается посредством решения следующих задач:

- анализ методов и параметров оценки хрупкой прочности строительной стали и определение их места в системе критериев выбора материала для строительных конструкций.

- обоснование и проведение микроструктурной систематизации малоуглеродистых сталей, полученных при различных температурно-временных условиях прокатки и термической обработки.

- методического обоснование и проведения экспериментальных исследований по количественной оценке параметров хрупкой прочности малоуглеродистой стали.

- обработка и обобщение результатов исследования с целью установления путей обеспечения высокого сопротивления крупному разрушению.

Научная новизна работы: заключается в том, что применительно к строительным конструкциям из термически упрочненной с прокатного нагрева малоуглеродистой стали.

- экспериментально установлена фактическая сопротивляемость хрупким разрушениям при различных методах механических испытаний;

- экспериментально установлены параметры оценки хрупкой прочности необходимые для построения методики расчета элементов стальных конструкций.

Практическая ценность исследования заключается в разработке и внедрении Рекомендации по изготовлению и расчету на прочность с учетом хрупкого разрушения стальных конструкции из термически упрочненного листового проката с уровнем предела текучести 325 МПа, а также конструкции из этого проката в объеме 1 тыс. тонн.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на научном семинаре кафедры технологии металлов Днепропетровского инженерно-строительного института; на научно-технической конференции "Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металла" - Н.-Кузнецк, 1986; на научно-технической конференции "Практика, проблемы разработки и внедрение ресурсосберегающих технологий" - Липецк, 1987; на всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии" - Днепропетровск, 1989; на VII всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. Секция: Технология металлов - Днепропетровск, 1989.

Результаты проведенных исследований использовались в научно-исследовательских работах "Разработка физически обоснованных критериев прочности, в том числе при хрупком разрушении, строительных сталей после термомеханической обработки", "Исследовать, разработать и организовать на толстолистовом стане 3600 производство опытно-промышленных партий низкоуглеродистой термоупрочненной стали, внедрить ее на заводах металлоконструкции Украины" выполненных в Днепропетровском инженерно-строительном институте в 1987-1992 гг..

Достоверность результатов обеспечена необходимым объемом экспериментальных исследований современными научно обоснованными

методами с применением приборов проведенных государственную поверку. Корректность построения математической модели обеспечивается привлечением теории подобия, а также согласованностью результатов лабораторных и промышленных исследований.

Публикации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 10 работ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 110 страницах основного машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, списка использованной литературы и 120 наименования, приложения и иллюстрирована рисунками.

На защиту выносятся: обоснование систематизации микроструктур малоуглеродистой стали, полученной в результате термической и термомеханической обработки; результаты теоретических и экспериментальных исследований определения хрупкой прочности малоуглеродистой стали, а также взаимосвязь различных методов исследования; обоснование значимости отдельных параметров микроструктуры для обеспечения сопротивляемости стали хрупким разрушениям.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость экспериментально-теоретических исследований хрупкой прочности термически упроченной малоуглеродистой стали в многообразии подходов и методов ее определения, в связи с особенностями ее структуры.

В первой главе проанализирована проблема хрупкой прочности стали и стальных конструкций и связанное с этим современное состояние и тенденции конструкционного материаловедения. На основании достижения различных областей науки, связанных с проблемой хрупкого разрушения, показано первичность фактора

свойств стали и его интегральная роль в системе факторов хрупкой прочности. Сформулированы основные задачи металловедения в обеспечении высокой сопротивляемости хрупким разрушениям.

Принципиальная возможность значительного улучшения комплекса механических свойств малоуглеродистой стали путем термического упрочнения была установлена в 60-е годы в работах академика АН УССР К.Ф.Стародубова, М.В.Приданцева, З.Н.Красильщикова и других. Однако, потребовалось значительное время для обеспечения повышения прочности и вязкости в промышленных условиях. В работе приводятся сведения о современных технологиях термического упрочнения, в первую очередь применявшихся для материала исследования.

Изложены современные физические представления о хрупкой прочности стали и сущность подходов к ее объяснению в рамках металлофизики (работы А.У.Коттрелла, О.Н.Романива, Дж.Ф.Нотта, Ю.Я.Мешкова и других). Показана возможность объяснения с точки зрения этих подходов феноменологических теории хрупкого разрушения (труды А.Ф.Иоффе, Н.Н.Давиденкова, Е.Орвана, Я.Б.Фридмана, Г.В.Ушика). Кратко проанализированы основные положения механики разрушения, в первую очередь структурной механики разрушения (работы Дж.Ф.Нотта, В.С.Ивановой, Р.О.Ритчи и других).

Во второй главе рассматриваются тенденции структурообразования малоуглеродистых сталей. Предложены принципы микроструктурной классификации. Показана сложность такой классификации, заключающаяся в терминологической, а иногда этимологической, неопределенности понятия, сложности идентификации, различий подходов к классификации и толкованию природы структурообразования.

В качестве материала исследования был выбран прокат малоуглеродистой стали ВСтЗсп пяти толщин (12, 18, 20, 25, 30 мм) прошедший термическое упрочнение в потоке стана "Азовсталь" по технологии разработанной ИЧМ и соответствовавший требованиям ВСтЗсп Т2 по ТУ 14-1-3521-87, а также горячекатаный прокат соответствующих плавок.

Выбор различных толщин проката позволил получить широкий спектр структур термически упрочненной малоуглеродистой стали.

Для анализа структурообразования применялся метод совместного анализа реальных кривых изменения температур листа и термокинетической диаграммы распада аустенита данной стали. Для большей достоверности положение критических точек (A_{c1} и A_{c3}) на диаграмме рассчитывали по интерполяционным моделям их зависимости от концентрации химических элементов в стали.

Микроструктура термоупрочненного проката изучалась на металлографических шлифах, приготовленных в плоскости продольного сечения листа с помощью светового оптического микроскопа "Neophot-21". Количественные характеристики микроструктуры - размер зерна, содержание фаз и их распределение по размерам определяли на структурном анализаторе "Epiquant". Параллельно были проведены измерения микротвердости структурных составляющих по толщине листа.

Обоснованность классификационных принципов иллюстрируется электронномикрографическими фотографиями.

Проведенные исследования показали неоднородность распределения микроструктуры по толщине листов, которая наиболее сильно выражена в листах толщиной 20, 25 и 30 мм. Можно выделить несколько структурных зон различной толщины, плавно переходящих одна в другую. Поверхностная состоит из видманштеттового и

полиэдрического феррита и псевдозвтектоида. В переходной зоне наблюдается измельчение полиэдрического феррита, а соотношение феррита и псевдозвтектоида не изменяется. В центральной зоне наблюдается укрупнение зерна и увеличение количества феррита в структуре.

Наблюдаемое повышение механических свойств при термической упрочнении малоуглеродистой стали происходит, очевидно, благодаря действию следующих механизмов упрочнения: (1) значительному увеличению псевдозвтектоида, который равномерно распределяется в объеме; (2) измельчению перлитных участков - в псевдозвтектоиде цементитные пластины представляют собой неоднородную карбидную фазу и состоят из отдельных субмикроскопических частиц цементита и α -фазы; (3) существенному измельчению ферритных зерен; (4) благодаря затруднению диффузионных процессов в ходе ускоренного охлаждения пресмыкается углеродом, что значительно увеличивает его прочность. Прочность второй фазы при этом снижается, что затрудняет образование зародышевых субмикротрещин на границах фаз.

В третьей главе обосновывается и разрабатывается методика экспериментальных исследований, методы ее математической обработки, а также приводятся ее результаты. Исследование хрупкой прочности структур, получаемых при термической упрочнении, достаточно сложная методическая задача, поскольку наблюдается как микроструктурная, так и макроструктурная (по сечению проката) неоднородности. Это предопределило весьма разнообразный и объемный комплекс экспериментальных исследований.

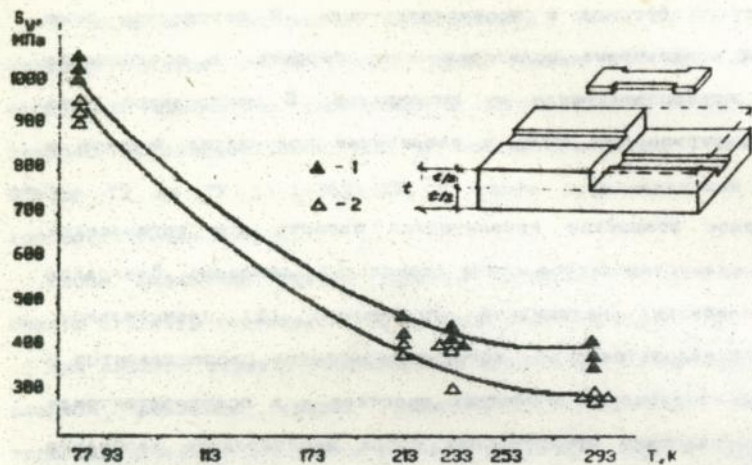


Рис. 1

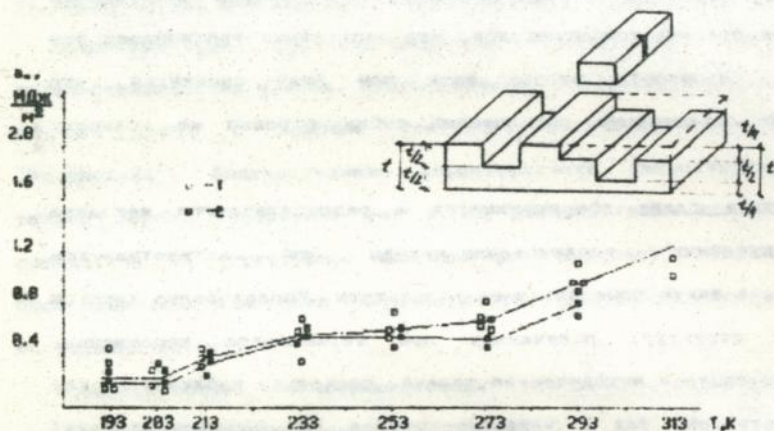


Рис. 2

: На первом этапе были проведены испытания на ударный изгиб и растяжение в широком температурном диапазоне для образцов.

вырезанных из поверхностных и средних слоев проката (см. рисунки 1 и 2).

Испытания на ударный изгиб включали испытания образцов с V- и U-образными концентраторами и образцов с предварительно наведенной трещиной в температурном диапазоне от 213 до 313К. При испытаниях регистрировались следующие параметры разрушения - энергия зарождения и развития разрушения, ударная вязкость, доля вязкой составляющей и относительное сужение в изломе. После установления 95-процентных доверительных областей результатов испытания определялись производные параметры - критические температуры по различным методам. Помимо получения значительного объема данных для сравнительного анализа при испытании на ударный изгиб были выявлены наиболее температурно чувствительные параметры разрушения и параметры имеющие наименьший разброс результатов испытания в температурном диапазоне, что имеет самостоятельное прикладное значение. При испытаниях на растяжение определялись температурные зависимости, временного сопротивления разрыву, истинного разрушающего разрушения, относительного сужения в изломе. Это позволило определить температурные зависимости предела текучести и минимального напряжения сопротивления микросколу R_{m0} .

Значительная часть исследования была посвящена испытаниям на трещиностойкость (вязкость разрушения). Проведение таких испытаний потребовало изготовления специальной оснастки для наведения трещины, осуществления принятой схемы нагружения и регистрации смещения берегов трещины. Испытания проводились на образцах, вырезанных из проката пяти толщин в температурном диапазоне от 113 до 273К. Результаты испытания были использованы

для получения температурных зависимостей K_{10} (K_{10}), J_0 (J_{10}) (см. рисунки 3 и 4)

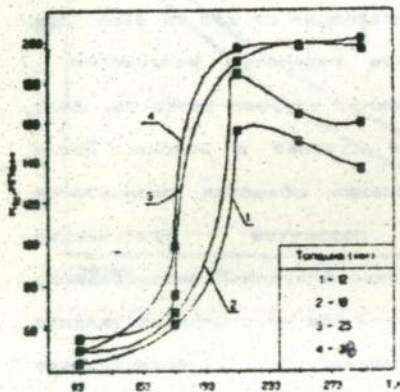


Рис. 3

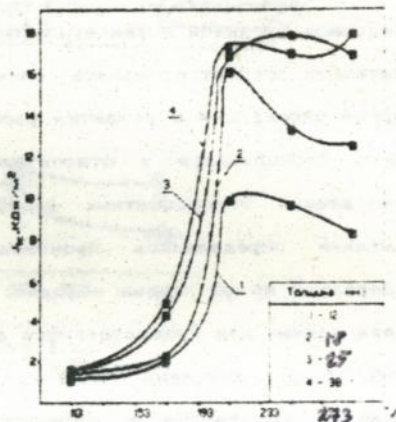


Рис. 4


Четвертая глава посвящена анализу результатов исследования и испытания, а также прикладному применению полученных результатов.

Сопоставлением результатов количественных металлографических исследования и экспериментально полученных значения напряжения сопротивления микросколу было показано, что минимальное значение напряжения сопротивления микросколу для структур термоупрочненной малоуглеродистой стали R_{ms} может быть теоретически рассчитано по известному уравнению:

$$R_{ms} = 400 + 66d_n^{-1/2}$$

в котором R_{ms} измеряется в МПа, а d_n - размер действительного зерна той структурной составляющей, объемная доля которой в структуре исследуемой стали больше, мкм.

Сравнение значения сопротивления микросколу рассчитанных по структурным параметрам и полученных экспериментально для некоторых структур приведены в таблице 1.

	Кол-во феррита	d, феррита	R _{м0} , МПа (экспер.)	R _{м0} , МПа (расчет по формуле)	Отклонение, %
	65.8	6.47	1180	1220	3.3
	82.3	13.46	1007	969	3.8

Экспериментально установленные температурные зависимости предела текучести были аппроксимированы уравнением экспоненциальной регрессии и приведены к виду:

$$\sigma_t = \bar{\sigma}_t \exp[\beta_2 (1/T - 1/T_0)]$$

Анализ результатов испытания на вязкость разрушения показал их достаточно высокую сопротивляемость хрупкому разрушению, в том числе и в сравнении со сталями аналогичного класса прочности. Было установлено, что структурные особенности термоупрочненной стали оказывают большее влияние на показатели трещиностойкости чем стеснение деформации перед вершиной трещины. Прокат толщиной 18-25мм показал устойчиво высокий уровень вязкости, в то время как у проката толщиной 12 и 30 мм вязкость была понижена. Последнее, очевидно указывает на необходимость повышенного внимания к технологическим особенностям его упрочнения.

Специальный раздел главы посвящен практическому применению полученных результатов для оценки сопротивляемости хрупкому разрушению стали и конструкция из нее.

ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты выполненной работы, применительно к термически упрочненной малоуглеродистой стали могут быть сформулированы следующим образом:

1. Экспериментально и теоретически установлена количественная зависимость между структурой стали и ее сопротивляемостью хрупким разрушениям. Показана принципиальная возможность использования физической модели микроскопа для количественной оценки ее хрупкой прочности.

2. В результате методической разработки и проведения экспериментальных исследований установлена фактическая сопротивляемость хрупкому разрушению, что позволило рекомендовать применение термически упрочненной малоуглеродистой стали в климатических районах с расчетной температурой эксплуатации до минус 70 С.

3. Полученные температурные зависимости параметров разрушения позволили количественно и качественно оценить сопротивляемость хрупким разрушениям.

4. Количественные металлографические исследования совместно с проведенными механическими испытаниями позволили указать основные механизмы повышения комплекса свойств.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Большаков Б.И., Лукьянскова А.Н., Умеренкова Н.А., Володашкин В.А., Лисогор И.А., Аскеров Х.А. Повышение долговечности механизмов горного и литейного двора доменных печей // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1984, № 3, С. 54-55.

2. Большаков В.И., Володашик В.А., Погребная Н.З., Ваганов В.Е., Аскеров Х.А., Котова Л.И. Создание оптимального субструктурного состояния с целью повышения трещиностойкости конструкционных свариваемых сталей // Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металла: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Н.-Кузнецк, 1986. - С. 108.
3. Большаков В.И., Смольянинова Н.А., Антонов С.М., Аскеров Х.А. Влияние режимов термомеханической обработки на конструктивную прочность строительной малоуглеродистой стали // Практика, проблемы разработки и внедрение ресурсосберегающих технологии: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Липецк, 1987. - С. 11-12.
4. Большаков В.И., Аскеров Х.А., Антонов С.М., Умеренкова Н.А., Лысогор И.А. Вязкость разрушения термомеханической упрочненной строительной стали // Разработка ресурсосберегающих технологий, эффективных технологии производства строительных материалов и конструкции и ведения строительно-монтажных работ: Тез. докл. респ. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1988. - С. 31.
5. Большаков В.И., Аскеров Х.А., Антонов С.М., Лукьянскова А.Н. Повышение вязкости строительной стали ВСтЗсп термомеханической обработкой // Разработка ресурсосберегающих технологии, эффективных технологии производства строительных материалов и конструкции и ведения строительно-монтажных работ: Тез. докл. респ. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1988. - С. 136.
6. Большаков В.И., Аскеров Х.А., Котова Л.И., Погребная Н.З. Повышение качества металлопроката путем термической и термомеханической обработки // Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1988. - с. 21.

7. Лукьянскова А.Н., Большаков В.И., Аскеров Х.А. Особенности термической обработки рациональных режимов охлаждения термически упрочненного проката из низколегированной строительной стали // В книге: Современное оборудование и технология термической и химико-термической обработки металлических материалов, М.:, 1989, с. 79.
8. Большаков В.И., Смольянинова Н.А., Антонов С.М., Аскеров Х.А. Особенности структуры низкоуглеродистой стали СтЗсп после термомеханической обработки и ее влияния на свойства // Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии: Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1989. - С. 119.
9. Большаков В.И., Антонов С.М., Аскеров Х.А. Влияние масштаба на трещиностойкость термически упрочненной малоуглеродистой стали // Производство и применение термически упрочненного проката в строительстве: Сб. докл. VII всесоюз. конф. по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений - Днепропетровск, 1989. - С. 205-212.
10. Большаков В.И., Смольянинова Н.А., Антонов С.М., Аскеров Х.А., Круликовская И.Г. Основные закономерности формирования структуры строительных сталей в процессе термомеханической обработки // Термомеханическая обработка металлических материалов, - М.: МДНТП, 1989. - С. 34-35.

Подписано к печати 16.12.1992.

формат 60x84/16. Бумага типогр. № 2. Печать офсетная,

физ.п.л. 0,75. Уч.-изд.л. 0,7. Усл.п.л. 0,89.

Тираж 100 экз. Заказ 771. Бесплатно.

Днепропетровский металлургический институт,
320636, Днепропетровск, пр. Гагарина, 4

ОЗ ДМетИ, 320005, Лозманское шоссе, 3-б.