

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Николаевой Натальи Сергеевны на тему:
«Оптимизация структурно-фазового состояния ферритно-мартенситных
сталей в процессе термической обработки в технологическом цикле
производства оболочечных труб», представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение
и термическая обработка металлов и сплавов»**

Одной из главных задач, определяющих эффективность атомной энергетики, является разработка материалов для оболочек ТВЭЛов, позволяющих увеличить уровень выгорания топлива.

Перспективным направлением в разработке таких материалов является создание нержавеющей хромистых ферритно-мартенситных сталей (ФМС). ФМС имеют несомненное преимущество перед аустенитными хромоникелевыми сталями, так как практически не подвержены радиационному набуханию. В то же время ФМС проигрывают аустенитным сталям по жаропрочности и по сопротивлению хрупкому разрушению. Известно, что ФМС, в отличие от аустенитных сталей, склонны к низкотемпературному радиационному охрупчиванию (НТРО).

В связи с изложенным, диссертация, посвященная оптимизации технологии термической обработки ФМС ЭК181 и ЧС139 для повышения их служебных характеристик, является несомненно актуальной.

Одним из значимых научно-технических достижений рецензируемой работы является установление влияния скорости нагрева под закалку на микроструктуру и механические свойства исследуемых сталей. Дело в том, что в теории закалки сталей обычно считается, что микроструктура и свойства в основном зависят от скорости охлаждения стали. Скорость нагрева рассматривается как малозначимый фактор; значимым фактором считается лишь температура под закалку и время выдержки, обеспечивающие достаточную гомогенизацию аустенита и, как следствие, более низкую температуру начала мартенситного превращения.

В работе показано, что получить более дисперсную микроструктуру можно альтернативным способом: увеличить скорость нагрева и температуру под закалку. Такая технология оборачивает минусы в плюсы. Быстрый нагрев не обеспечивает гомогенную аустенитную структуру, но зато обеспечивает множество центров зарождения вторичных зерен аустенита при его перегреве. В результате

формируются мелкие первичные зерна, выпадают мелкодисперсные карбиды, что в итоге приводит к достаточно полному мартенситному превращению. Полученная микроструктура обеспечивает высокую длительную прочность, а также высокое сопротивление хрупкому разрушению.

Большой объем диссертации посвящен анализу влияния технологии закалки ФМС (рассматривается классическая технология закалки – «VSQ» и оптимизированная – «Атон») на микроструктуру, кратковременные и длительные механические свойства.

Кроме того, заслуживают отдельного упоминания исследования по термическому старению ФМС, а также исследования по влиянию нейтронного облучения на микроструктуру и свойства сталей. В частности, показано, что при $T=650-700^{\circ}\text{C}$ старение приводит к снижению прочностных характеристик ФМС. Данный результат должен быть учтен при обосновании сроков эксплуатации оболочек из этих сталей.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Из автореферата неясно, проводилась ли оценка длительной прочности ФМС с учетом влияния термического старения на снижение прочностных свойств сталей. Иными словами, временная база при анализе длительной прочности перекрывала ли временную базу реализации термического старения, приводящего к снижению прочностных свойств сталей?

2. В работе показано, что предел прочности ФМС после облучения снизился на 10%. В то же время утверждается, что в процессе облучения происходит упрочнение материала. Если оба утверждения корректны, то снижение предела прочности облученных ФМС связано со снижением их пластичности, значение которой в автореферате не приведено. Возникает вопрос – облучение действительно привело к такому снижению пластичности ФМС, которое сказалось на снижении их пределов прочности?

3. В работе показано, что сталь ЭК181 содержит ~5% δ -феррита. Увеличение содержания δ -феррита обычно приводит к снижению сопротивления хрупкому разрушению. Возникает вопрос – действительно ли сталь ЭК181 имеет более низкое сопротивление хрупкому разрушению, чем ЧС139, или другие факторы (например, РИФ) оказывают большее влияние на хрупкое разрушение?

4. Исходя из полученных в работе данных можно ли утверждать, что пороговое значение радиационной ползучести стали ЧС139 не менее 50 МПа?

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертационная работа полностью соответствует специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 18.03.2023 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации Николаева Наталья Сергеевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Заместитель начальника научно-производственного
комплекса «Материалы и вопросы безопасности
энергетических установок», начальник лаборатории
«Прочность и ресурс энергетического оборудования»
доктор технических наук,
профессор



Б.З. Марголин

22.09.2023

Подпись д.т.н., профессора Б.З. Марголина
удостоверяю:

Ученый секретарь Учёного совета
НИЦ «Курчатовский институт»-
ЦНИИ КМ «Прометей»
кандидат технических наук



Б. В. Фармаковский

НИЦ «Курчатовский институт»-ЦНИИ КМ «Прометей»
191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49
Тел.: +7 (812) 274-37-96 Эл. адрес: mail@crism.ru
Сайт: <http://www.crism-prometey.ru>