

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
“ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”  
(ВолгГТУ)

Волгоград

НИИ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 490/01-28/54	В ДЕЛО
« 03 03 20 26 »	№
Осн. 6 л.	подп.
Прил. — л.	

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»

чл.-корр. РАН, д.т.н., проф.

С.В. Кузьмин

« 24 » 02 2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу **Шубина Олега Владимировича**  
«Разработка технологии сварки корпусов ВВЭР из стали 15X2НМФА,  
обеспечивающей повышение сопротивления хрупкому разрушению  
металла сварных швов», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 2.5.8 Сварка, родственные  
процессы и технологии (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования

Развитие и совершенствование водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР), направленное на улучшение показателей их эффективности, экономичности, безопасности и долговечности, имеет большое значение для атомной энергетики РФ и неотъемлемо связано с поиском и разработкой новых сварочных технологий для изготовления корпуса реактора с повышенными эксплуатационными свойствами в условиях воздействия нейтронного облучения и высоких температур.

В этой связи общепринятым условием обеспечения безопасности является сопротивление металла корпуса хрупкому разрушению, обусловленного влиянием условий эксплуатации и содержанием в стали легирующих и примесных элементов. Это требование особенно актуально для сварных швов, показатель критической температуры хрупкости металла которых составляет

всего  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что в 3 раза ниже нормативных значений для корпусной стали 15X2НМФА, многолетнее совершенствование технологии изготовления которой обеспечило содержание вредных примесей на минимально возможном уровне. По этой причине становится критически важным повышение металлургического качества металла сварного шва, что связано с уменьшением содержания в нем кислорода и других примесных элементов, шлаковых и неметаллических включений.

К настоящему времени достигнут высокий уровень теоретического понимания процессов, протекающих при сварке под флюсом низколегированных сталей, в том числе подтверждена возможность уменьшения количества и размера неметаллических включений за счет модифицирования металла компонентами (тугоплавкими химическими соединениями), специально вводимыми в составы сварочных флюсов. В то же время остаются практически не изученными возможности комплексного воздействия на структурно-фазовое состояние металла сварных швов переменного модулированного тока в сочетании со шлаками, образующимися при расплавлении флюсов с низкой химической активностью.

Таким образом, **актуальность темы** диссертационной работы Шубина Олега Владимировича несомненна и является чрезвычайно востребованной для развития сварочного производства и экономики РФ.

**Значимость полученных в диссертации результатов** заключается в определении взаимосвязи технологических параметров сварки с химическим и фазовым составом металла шва, его механическими свойствами и свойствами сварного соединения, учитывая которые, возможно обеспечить отсутствие склонности к деградации механических свойств металл сварных швов в процессе воздействия неблагоприятных эксплуатационных факторов.

К ряду результатов диссертационной работы, обладающих несомненной **научной новизной**, можно отнести выявленную взаимосвязь между уменьшением содержания в металле шва кислорода и кремния и параметрами модуляции переменного тока, под воздействием которых достигается перераспределение теплового баланса между электродом и изделием способствует уменьшению температуры на стадии взаимодействия шлакового и металлического расплава и, соответственно, изменению скорости и направлению окислительно-восстановительных реакций, наиболее чувствительных к изменению температуры, к которым, прежде всего, относится реакция восстанов-

ление из шлака кремния.

Другим важным научным результатом является достоверно установленные причины снижения ударной вязкости металла шва после промежуточного отпуска при температуре 620 °С продолжительностью свыше 10 ч, что связано с процессом ослабления когезивной прочности границ зерен вследствие образования на них специальных легированных карбидов типа  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  и  $MoC$ .

Результаты экспериментальных исследований с использованием проволоки Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с флюсом 48АФ-71 получили подтверждение при проведении испытаний производственных контрольных сварных соединений, и внесены в проекты извещений об изменении ОСТ 5Р.9633-2015 «Сварка конструкций специальных судовых энергетических установок из стали аустенитного и перлитного классов и железоникелевых сплавов. Основные положения» и ОСТ 5Р.9634-2015 «Соединения сварные конструкций специальных судовых энергетических установок из стали аустенитного и перлитного классов и железоникелевых сплавов. Правила приемки и методы контроля» для изготовления оборудования из сталей 15ХЗНМФА, 15ХЗНМФА-А, 15Х2НМ1ФА и 15Х2НМ1ФА-А.

К числу наиболее значимых с практической точки зрения результатов диссертационного исследования необходимо отнести:

- научно обоснованные технологические параметры автоматической сварки под флюсом корпуса реактора из стали 15Х2НМФА, обеспечивающие соответствие сопротивления хрупкому разрушению металла шва требованиям конструкторской документации;

- низкую склонность к термическому старению ( $\Delta T_T = 0$  °С) металла сварных швов, выполненных с применением проволоки марки Св-09ХГНМТАА-ВИ в сочетании с агломерированным низкоактивным флюсом марки 48АФ-71, что исключает разрушение сварных соединений корпуса по хрупкому механизму в процессе его эксплуатации вследствие влияния длительного воздействия рабочей температуры;

- экспериментально подтверждённую возможность смещения критической температуры хрупкости металла шва стали 15Х2НМФА с -15 °С до -35 °С при соответствии прочих механических свойств металла шва и сварного соединения требованиям нормативной документации за счет синергетического эффекта от применения сбалансированного модулированного тока и флюса с низкой химической активности.

### **Достоверность результатов и обоснованность выводов**

Работа базируется на большом количестве экспериментальных исследований, их качественном анализе и обработке. Большое внимание уделено использованию современных взаимодополняющих методов исследования, включающих: металлографические и фрактографические исследования, а также рентгеновскую дифрактометрию. В совокупности с применением в работе обширного комплекса механических испытаний это позволяет сформулировать хорошо обоснованные выводы и выносимые на защиту положения, которые не вызывают сомнений.

**Апробация диссертационной работы** в достаточной мере представлена 9 публикациями в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ, из которых 2 публикации проиндексированы в базах данных Scopus и Web of Science. Полученные результаты прошли авторитетную апробацию на ряде международных и всероссийских научных конференций.

**Диссертация и автореферат** написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает постановку, методы исследования и результаты решения поставленных задач. Автореферат полностью отражает структуру и содержание основных результатов и положений, представленных в диссертации.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Не вызывает сомнений, что сформулированный автором комплексный подход к разработке технологии сварки после их включения в нормативно-техническую документацию Госкорпорации «Росатом» и конструкторскую документацию разработчика реакторных установок ОКБ «Гидропресс» найдет применение при изготовлении перспективных электростанций с водяным энергетическим ядерным реактором. Также предложенное сочетание проволоки и флюса может быть востребовано при освоении сварки перспективных отечественных марок низколегированных сталей повышенной прочности бейнитного и ферритно-бейнитного классов.

### **Замечания по работе**

1. В работе убедительно показано положительное влияние переменного модулированного тока на структуру и вязкопластические свойства металла сварных швов. Однако высказанное предположение о снижении интенсивно-

сти протекания окисли-кремний-восстановительных процессов при использовании модулированного переменного тока следовало подкрепить данными (например, влиянием баланса между фазами полярности переменного тока и смещения его амплитуды на содержание кислорода в шлаке), лежащими в основе выявленных эффектов. Это позволило бы более четко отразить в формулировке научной новизны связь между параметрами режима сварки, показателями металлургического качества металла швов и уровнем их свойств.

2. Неясно, чем объясняется значительный разброс значений ударной вязкости металла шва при различной длительности выдержки образцов, содержащих 0,17 мас.% Si при промежуточном отпуске. Имеется ли корреляция ударной вязкости с результатами механических испытаний, в частности, с показателем относительного удлинения?

3. Используемая для определения скорости охлаждения  $\omega_{8/5}$  модель быстро движущегося точечного источника на поверхности полубесконечного тела подходит для условий многопроходной сварки лишь с очень большими ограничениями и только для первого прохода. Для более точного выбора расчетной схемы следовало бы опираться на экспериментальные данные контроля теплового поля в процессе сварки на различных участках выполняемого кольцевого шва.

4. При анализе зависимости величины скорости охлаждения  $\omega_{8/5}$  от температуры предварительного подогрева более корректно использовать шкалу абсцисс не в диапазоне 0...500 °С, а, например, начиная со значений 100 °С.

5. В диссертации целесообразно было бы предоставить сведения о разработке технологии, что заявлено в названии работы, и показать сравнительную оценку результатов, достигнутых с использованием предложенных технологических решений и базовой технологией сварки.

Данные замечания не носят принципиального характера, не ставят под сомнение основные выводы и не снижают общей положительной оценки диссертации Шубина О.В., выполненной на высоком научном уровне.

### **Заключение**

Диссертационная работа Шубина Олега Владимировича на тему «Разработка технологии сварки корпусов ВВЭР из стали 15Х2НМФА, обеспечивающей повышение сопротивления хрупкому разрушению металла сварных швов» является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разра-

ботки в области совершенствования технологии сварки корпусов реакторов типа ВВЭР, имеющие существенное значение для развития страны.

Считаем, что актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности сформулированных выводов диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями от 16.10.2024 г. № 1382), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шубин Олег Владимирович **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки).

Диссертация заслушана и обсуждена на расширенном заседании кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» факультета технологии конструкционных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет». Присутствовали на заседании 22 человека. Результаты голосования: «за» 22 – человека, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет. (протокол № 2 от 17 февраля 2026 г).

**Отзыв подготовил:**

Профессор кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» ВолгГТУ, доктор технических наук (научная специальность 2.5.8 «Сварка, родственные процессы и технологии»), доцент



Зорин Илья Васильевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», (ВолгГТУ). Почтовый адрес: 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28. Тел.: (8442) 23-00-76, e-mail: [rector@vstu.ru](mailto:rector@vstu.ru); <http://www.vstu.ru>

Достоверность подписи подтверждаю



Озмашомлем  04.03.2026г.