

В диссертационной совет 75.1.018.01,  
созданный на базе  
НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу

**Шубина Олега Владимировича**

на тему: «Разработка технологии сварки корпусов ВВЭР из стали 15Х2НМФА, обеспечивающей повышение сопротивления хрупкому разрушению металла сварных швов»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.8 Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки).

### 1. Актуальность работы

Атомные электростанции (АЭС) снабжают РФ большим количеством электроэнергии. Выработка электроэнергии по официальным данным за 2025 год составила 218,349 млрд кВт\*ч. АЭС являются стратегическими объектами РФ. Корпус реактора является неотъемлемой частью ядерной установки, который определяет срок эксплуатации АЭС. Корпус реактора изготавливается из стали типа 15Х2НМФА.

Общепринятым условием обеспечения безопасной эксплуатации корпуса реактора является обеспечение целостности по критерию сопротивления хрупкому разрушению всех его элементов при всех режимах эксплуатации, в том числе, при аварийном расхолаживании. Сопротивление хрупкому разрушению сварных швов корпуса реактора существенно уступает основному металлу.

Отсутствие стабильности в обеспечении критической температуры хрупкости металла шва приводит к необходимости селективного отбора сочетаний свароч-

НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей»	
вх. №	517/09-28/34
№	4
г.г.	03 20 26 г.
Соч.	3 л.
Прим.	— л.
№	
подп.	

ная проволока – сварочный флюс по результатам входного контроля материалов. Недостижение требуемого значения критической температуры хрупкости при испытании производственных контрольных сварных соединений требует проведения повторных испытаний. Все указанные операции приводят к увеличению срока изготовления корпуса реактора, а также к существенному повышению издержек машиностроительного предприятия.

Проблеме снижения сопротивления хрупкому разрушению материалов корпуса реактора посвящены исследования НИЦ «Курчатовский институт», ЦНИИ КМ «Прометей», НПО «ЦНИИТМАШ» и НИАР. Для снижения степени деградации механических свойств в процессе воздействия нейтронного облучения разработаны рекомендации, заключающиеся в ограничении содержания примесных элементов (фосфора, меди, олова и ряда других), а также легирующего элемента никеля в металле. Однако исходные показатели сопротивления хрупкому разрушению металла сварного шва в сравнении с заготовками основного металла остаются низкими.

Существующая тенденция к увеличению ресурса реакторов АЭС ставит задачу повышения сопротивления хрупкому разрушению металла сварных швов корпусов реактора из стали 15Х2НМФА за счет разработки технологических мероприятий при сварке.

## **2. Цель, новизна, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

*Целью диссертационной работы Шубина Олега Владимировича является повышение характеристик сопротивления хрупкому разрушению металла шва корпуса реактора из стали 15Х2НМФА путем разработки технологии автоматической сварки под флюсом с применением сварочной проволоки Св-09ХГНМТАА-ВИ.*

Для достижения поставленной цели были решены *следующие задачи:*

1. Установлены факторы, приводящие к снижению сопротивления хрупкому разрушению металла шва корпуса реактора из стали 15Х2НМФА.

2. Обоснованы методы приводящие к повышению сопротивления хрупкому разрушению металла шва за счет технологических параметров сварки и применения низкоактивного сварочного флюса.

3. Разработана технология автоматической сварки с применением разработанных технологических мероприятий и сочетания сварочных материалов.

*Научная новизна диссертационной работы* заключается в следующем:

1. Выявлено снижение ударной вязкости металла шва при температуре «минус» 25 °С, полученного при сварке под флюсом ФЦ-16А в сочетании со сварочной проволокой марки Св-09ХГНМТАА-ВИ стали 15Х2НМФА, после промежуточного отпуска при температуре 620 °С продолжительностью свыше 10 ч, что связано с ростом количества и размеров карбидов типа  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  и  $MoC$ .

3. Установлено, что применение флюса марки 48АФ-71 в сочетании с проволокой марки Св-09ХГНМТАА-ВИ при сварке под флюсом стали 15Х2НМФА наблюдается рост значений ударной вязкости металла шва за счет снижения количества и размера неметаллических включений, что сопровождается снижением содержания кислорода в металле шва.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается использованием апробированных методик исследований с применением современного оборудования.

По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 7 статей в реферируемых журналах (из перечня ВАК при Минобрнауки РФ) и 2 статьи входящих в международные реферативные базы данных (Scopus/WOS).

### **3. Структура, содержание и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 206 страницах машинописного текста, содержит 99 рисунков и 26 таблиц. Список литературы из 180 наименований соответствует рассматриваемой проблеме.

### **4. Практическая ценность работы**

Установлены технологические параметры автоматической сварки под флюсом марки 48АФ-71 с использованием сварочной проволоки марки Св-

09ХГНМТАА-ВИ корпуса реактора из стали 15Х2НМФА, обеспечивающие соответствие сопротивлению хрупкому разрушению металла шва требованиям конструкторской документации, которые внесены в производственно-технологическую документацию завода «Атоммаш» при изготовлении оборудования экспортных блоков АЭУ (акт внедрения диссертационной работы от Филиала «Атоммаш» АО «АЭМ-технологии»).

## **5. Достоверность результатов работы**

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированных методик экспериментальных исследований, использованием современного оборудования, а также большим объемом выполненных экспериментов.

## **6. Замечания по работе**

1. При исследовании влияния параметров режима переменного тока следовало бы расширить диапазон варьирования параметров режима, а также провести исследования влияния исследуемых параметров на сварочно-термический цикл, т.к. переменный ток и его параметры (баланс, частота, смещения с нуля и т.д.) оказывают влияние не только на формирование валика, но и на тепловложение в основной металл. Кроме того, особый интерес имеет сравнение прямоугольной формы переменного тока и синусоидальной формы с точки зрения их влияния как на сварочно-термический цикл, так и на формирование неметаллических включений.

2. В диссертации проводится анализ химического состава неметаллических включений. При этом остается неясным, как эти данные используются при дальнейших исследованиях. Кроме того, следует обратить внимание на отсутствие гарантии наличия включений на шлифе при их анализе. Неметаллические включения склонны к выкрашиванию, а оставшиеся полости заполняются абразивным материалом, применяемым при подготовке шлифа.

3. В диссертации (в частности, в выводах к Главе 4 п 2) отмечено, что снижение количества кислорода в металле шва при использовании переменного тока объясняется снижением интенсивности кремний-восстановительного процесса,

однако связь переменного тока с интенсивностью химических реакций не раскрыта.

4. В Главе 4 работы заявлено проведение исследования сварочно-технологических свойств сварочных материалов при применении переменного тока с различными параметрами. Рассматривали следующие сварочно-технологические свойства сварочных материалов: гладкость поверхности валика, наличие дефектов в виде подрезов, пор и трещин, легкость отделения шлаковой корки. Однако, в работе отсутствует методика и критерии проведения таких исследований, а также информация о этих свойствах.

5. На рисунке 4.8 показано, что при испытании металла шва на ударный изгиб при температуре «минус» 40°C переход с постоянного тока на переменный сопровождается некоторым повышением ударной вязкости металла шва при применении флюса 48АФ-71, когда как при температуре испытаний «минус» 50°C наблюдается обратная картина. С чем автор связывает такое изменение влияния переменного тока на ударную вязкость металла шва?

6. В тексте диссертации присутствуют опечатки и неточности. Например, в Главе 5 отсутствует информация о параметрах режима, на которых проводились экспериментальные исследования. На рисунке 4.4 следовало бы сгруппировать данные для удобства их анализа.

7. В разделе 4.2. для анализа химического состава металла шва была использована проба, представленная на рисунке 4.6, однако ее применение не обосновано. Кроме того, в самом разделе приведена информация о химическом составе наплавленного металла, а не металла шва.

Указанные замечания не снижают общей положительной характеристики работы, её научной и практической ценности.

## 7. 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 завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения по повышению сопротивления хрупкому разрушению металла сварных швов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергомашиностроения.

Публикации автора в полной мере отражают его основные научные и практические достижения, а число публикаций и объем достаточно полно характеризуют защищаемую работу. Печатные труды автора, приводимые в диссертации и автореферате, опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, а также входящих в наукометрические базы Scopus и WOS, результаты работы апробированы на конференциях и семинарах в период с 2022 по 2024 годы.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает основные положения диссертации.

В целом, диссертационная работа **Шубина Олега Владимировича** соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Шубин Олег Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки)**.

Директор ФГАУ «НУЦСК при  
МГТУ им. Н.Э. Баумана»,  
д.т.н., доцент



Коберник Николай Владимирович

Коберник Николай Владимирович, директор, доктор технических наук, доцент, научная специальность 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии», ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, тел. (499) 261-42-57, koberniknv@bmstu.ru

Озможено  
04.03.2026г.