

## Раздел пятый

# ДИАГНОСТИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 669.018.2:621.9.048.4

## ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ВЫРЕЗАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ТЕМПЛЕТОВ ИЗ КОРПУСОВ РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000

*И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, С.В. Гоженко*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,  
Харьков, Украина*

*E-mail: Ochigov@kipt.kharkov.ua*

Представлены результаты разработки метода вырезания малоразмерных темплетов для контроля в лабораторных условиях состава и структуры металла корпусов реакторов. Приведены описание и результаты испытания оборудования для дистанционного электроэрозионного вырезания темплетов из корпусов ВВЭР-1000 жестким электродом.

### ВВЕДЕНИЕ

Свойства металла элементов, находящихся в эксплуатации объектов, могут быть определены в полном объеме только при исследовании образцов в лабораторных условиях. В ряде случаев необходимость продолжения эксплуатации объектов контроля делает невозможным вырезку образцов металла (темплетов) традиционными методами. В частности, это касается корпусов реакторов энергоблоков, ремонт которых в процессе эксплуатации АЭС не предусмотрен. Электроэрозионные методы позволяют вырезать темплеты из корпусов реакторов без снижения их эксплуатационных характеристик [1, 2]. Основанные на использовании проволочных электродов методы электроэрозионного вырезания включают две стадии с заменой оборудования в зоне вырезки. Использование жестких электродов позволяет организовать вырезку темплетов за один этап. При вырезке малоразмерных темплетов в условиях высокого уровня радиационного облучения, например для контроля состава, структуры металла корпусов реакторов, одностадийность электроэрозионного метода с использованием жестких электродов имеет решающее значение.

При вырезке толстостенных темплетов энерговыделение при электроэрозионных разрядах не приводит к значительному повышению температуры металла на удалении более 50 мкм. Температура металла тонкостенных ( $\leq 1$  мм) темплетов при вырезании жесткими электродами может повышаться до значений, вызывающих структурные и фазовые преобразования. Поэтому вырезание проводят при щадящих режимах. При этом уменьшается не только скорость прошивания полости, но и затрудняется удаление образовавшихся шламов из электроэрозионной зоны.

Ситуация усугубляется тем, что в качестве рабочей жидкости при работе на корпусе реактора используется вода с антикоррозионными присадками. Аналогичные растворы уже применяются при ультразвуковом контроле целостности корпуса реактора. Однако антикоррозионные присадки совместно с электроэрозионным шламом повышают электропроводимость воды. Это негативно влияет на электроэрозионную обработку и повышает электрохимиче-

ское растравление внутренней полости. Значительная неопределенность реальных характеристик рабочей жидкости в глухих полостях не позволяет однозначно прогнозировать ход процесса прошивания.

При электроэрозионном прошивании длинных глухих полостей всегда применяются специальные технологические приемы для облегчения вывода образующихся шламов.

Целью работы является разработка оборудования и методики для дистанционной вырезки малоразмерных темплетов из корпусов реакторов ВВЭР-1000.

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫРЕЗКИ ТЕМПЛЕТОВ

Оборудование по месту расположения при вырезке темплетов условно может быть представлено в виде двух комплексов функциональных модулей. Один комплекс располагается около корпуса реактора в условиях высокого уровня радиации и состоит из узла электроэрозионной вырезки темплетов жестким электродом и транспортной платформы. Работа модулей этого комплекса управляется дистанционно. Второй комплекс модулей работает в условиях допустимого для обслуживающего персонала радиационного фона и включает генератор электроэрозионных импульсов, блок питания, блок управления и систему видеонаблюдения. Эти комплексы модулей соединены 50-метровым гибким кабелем.

Непосредственно вырезку темплета осуществляет узел электроэрозионной вырезки. Внешний вид его показан на рис. 1.

Все элементы узла смонтированы на основании 4, положение которого относительно корпуса реактора задается микрометрическими ограничительными опорами. Опоры ограничивают глубину электроэрозионной обработки.

Сервопривод 3 осуществляет вращение рычажного механизма 2. Вращение от сервопривода к механизму передается через подвижное соединение. В соединении сервопривод сцеплен с катушкой электромагнита, а рычажный механизм – с сердечником (рис. 2).

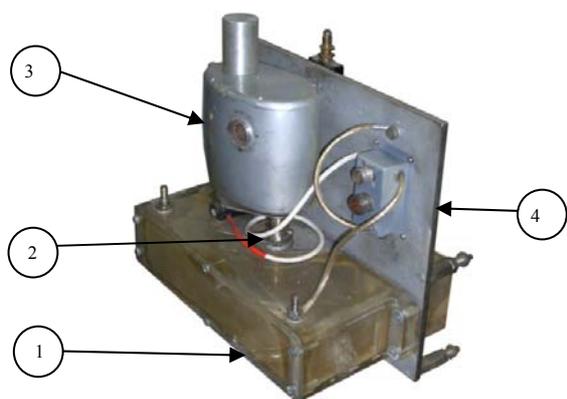


Рис. 1. Узел электроэрозионной вырезки темплетов жестким электродом: 1 – кювета; 2 – рычажный механизм; 3 – сервопривод; 4 – основание

Электромагнит периодически продольно вибрирует рычажный механизм и соответственно электрод. Это интенсифицирует процесс устранения шламов из прошиваемой полости. Электромагнит

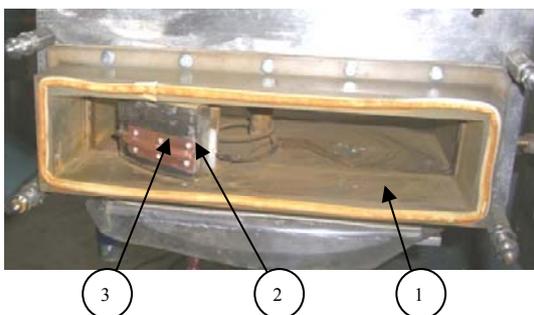


Рис. 3. Расположение электрода в кювете: 1 – кювета; 2 – электроэрозионный электрод; 3 – диэлектрическая прокладка

При вырезке часть электрода продвигается в прошиваемой полости. Темплет в конечном счете располагается между диэлектрической прокладкой и электродом. В этом состоянии он надежно удерживается при транспортировании узла вырезки манипулятором системы СК-187 от корпуса реактора до места выгрузки.

На штанге манипулятора СК-187 узел электроэрозионной вырезки монтируется с помощью транспортной платформы (рис. 4).

Основание 2 платформы прикрепляется к монтажной площадке манипулятора СК-187 четырьмя болтами.

Узел электроэрозионной вырезки устанавливается на монтажной площадке 2. Приводы 1 и 4 осуществляют перемещение монтажной площадки платформы на  $\pm 40$  мм параллельно и  $\pm 30$  мм перпендикулярно поверхности корпуса реактора. Соответственно в этом же диапазоне величин перемещается и узел при выборе места вырезки и уплотнении кюветы.

Элементы питания и управления оборудования для вырезки темплетов показаны на рис. 5.

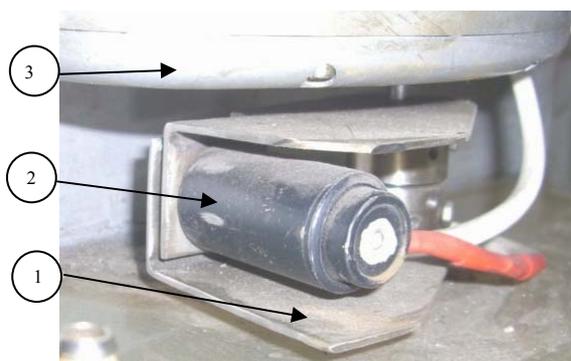


Рис. 2. Соединение сервопривода с рычажным механизмом: 1 – рычажный механизм; 2 – электромагнит; 3 – сервопривод

также разрывает контакт электрода со стенкой прошиваемой полости при закорачивании.

Электрод для вырезки малых темплетов смонтирован на диэлектрической прокладке рычажного механизма (рис. 3).

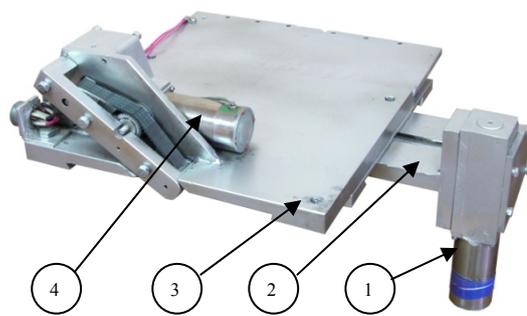


Рис. 4. Монтажная платформа: 1 – привод параллельной подачи; 2 – основание; 3 – монтажная площадка; 4 – привод перпендикулярной подачи

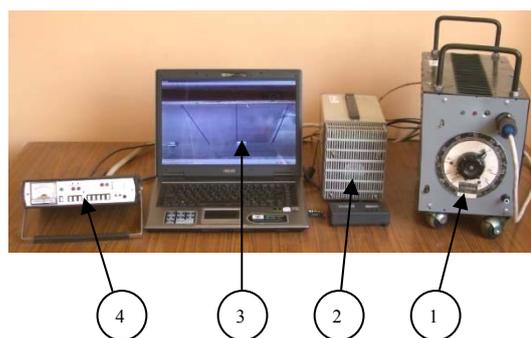


Рис. 5. Элементы питания и управления оборудования для вырезки темплетов: 1 – разделительный трансформатор; 2 – генератор электроэрозионных импульсов; 3 – система видеонаблюдения; 4 – блок управления

Блок 4 управляет перемещениями монтажной площадки платформы (ручной режим) и электрода (ручной и автоматический режим). Индикаторы блока позволяют оперативно контролировать ход процесса вырезки темплета (отображается положение, скорость и направление движения электрода и

т. д.). Блок автоматически осуществляет реверс направления перемещения электрода при закоротках.

Генератор 2 обеспечивает импульсное электропитание электроэрозионного электрода, генерируются импульсы амплитудой до 400 В. Электропитание на генератор подается от повышающего разделительного трансформатора 1 с регулятором напряжения. Это обеспечивает электробезопасность обслуживающего оборудование персонала при пробое силовых транзисторов (объекты, которые контролируют, как правило, заземлены) и расширяет амплитудный диапазон генератора.

Оборудование прошло отладочные работы на стендах в ННЦ ХФТИ и ЮУ АЭС. В лабораторных условиях имитировалась работа узла вырезки на штанге манипулятора установки ультразвукового контроля сплошности корпусов реакторов ВВЭР-1000. На стенде ЮУ АЭС подача оборудования к месту вырезки темплетов осуществлялась манипулятором СК-187, геометрическое расположение имитатора корпуса реактора полностью соответствовало реальному. Стенд ЮУ АЭС для отладки системы ультразвукового контроля с установленным для вырезки темплета имитатором корпуса реактора приведен на рис. 6.

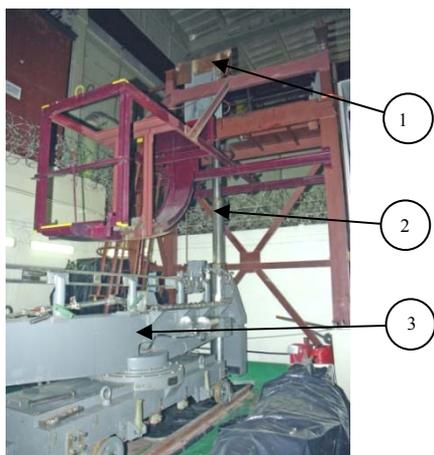


Рис. 6. Стенд ЮУ АЭС для отладки системы ультразвукового контроля:  
1 – имитатор корпуса реактора, предназначенный для вырезки темплета; 2 – штанга СК-187;  
3 – платформа СК-187

В обоих случаях дистанционное управление и электропитание осуществлялось посредством 50-метрового кабеля с использованием системы видеонаблюдения. В качестве имитаторов корпуса реактора использовали стальные пластины толщиной 10...16 мм. Расположение узла электроэрозионной вырезки относительно имитатора на стенде ЮУ АЭС показано на рис. 7.

При экспериментальном налаживании оборудования для вырезки темплетов малых размеров электроэрозионные электроды изготавливали из медного листа толщиной 0,5...1 мм вальцеванием. Показанный на рис. 8 электрод предназначен для вырезания темплетов шириной ~3 мм и толщиной до 4 мм.

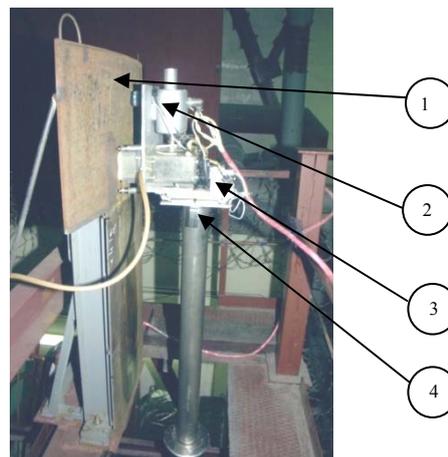


Рис. 7. Расположение узла электроэрозионной вырезки относительно имитатора на стенде ЮУ АЭС: 1 – имитатор;  
2 – узел электроэрозионной вырезки;  
3 – монтажная платформа; 4 – штанга СК-187

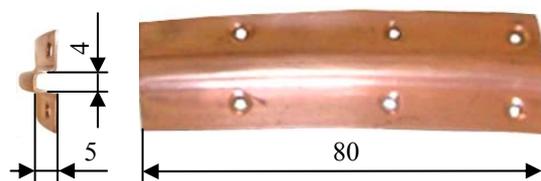


Рис. 8. Электроэрозионный электрод

Амплитуда электроэрозионных импульсов при вырезке темплетов варьировалась в диапазоне величин 200...350 В. Периодические колебания электромагнитом электрода совместно с электрическими разрядами обеспечивали интенсивное удаление шламов из прошиваемой полости в течение всего процесса вырезки.

В зоне электроэрозионного прошивания металл циклически нагревается разрядами и охлаждается рабочей жидкостью. Это приводит к изгибу обособленной части тонкого темплета (зародыша) к поверхности имитатора (рис. 9).

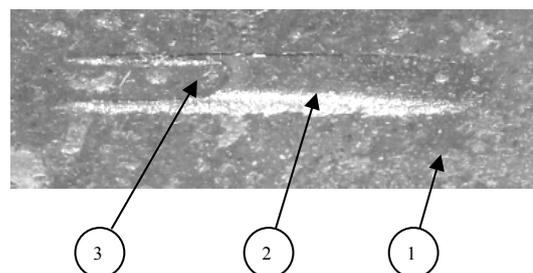


Рис. 9. Поверхность имитатора на промежуточной стадии вырезки темплетов:  
1 – имитатор; 2 – впадина; 3 – зародыш темплета

В случае превышения скорости деформации зародыша темплета над интенсивностью электроэрозионного утонения электрода изгиб темплета периодически приводит к закоротке. При этом блок управления изменяет направление вращения сервопривода, который выводит электрод из прошиваемой полости до восстановления разрядного промежутка. После устранения закоротки направление перемещения электрода возобновляется, внутренняя часть электрода электроэрозионно взаимодействует

с темплетом. Выступающая часть зародыша темплета электроэрозионно стравливается. Электрод при этом получает значительные внутренние разрушения. При толщине металла электрода менее 0,8 мм в нем могут образовываться сквозные отверстия (рис. 10).

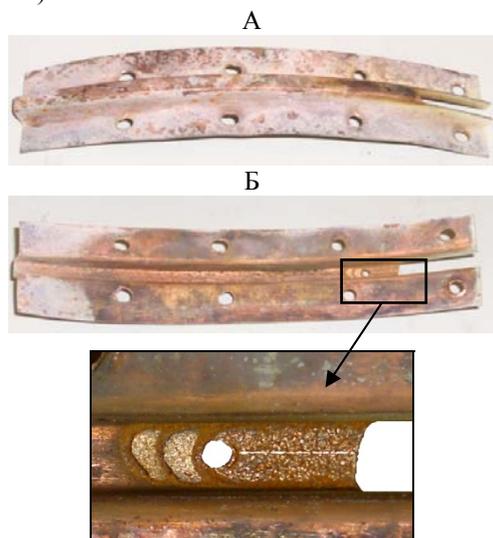


Рис. 10. Износ электроэрозионного медного электрода толщиной 0,5 мм при вырезке темплета: А – вид со стороны имитатора; Б – вид со стороны рычажного механизма

На конечной стадии процесса вырезки механическая связь темплета с основой теряет жесткость. Электрод с темплетом контактируют, электроэрозионные разряды прекращаются.

Для завершения вырезки темплет отрывают от основы отводом узла вырезки от поверхности имитатора. На поверхности остается впадина (рис. 11), которая впоследствии вышлифовывается.

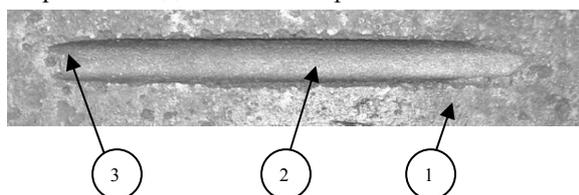


Рис. 11. Впадина на поверхности имитатора после электроэрозионного вырезания темплета: 1 – имитатор; 2 – впадина; 3 – шейка отрыва темплета

## ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНЕ ВИРІЗАННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ ТЕМПЛЕТІВ З КОРПУСІВ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000

*І.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, С.В. Гоженко*

Приведені результати розробки методу вирізання малорозмірних темплетів для контролю в лабораторних умовах складу і структури металу корпусів реакторів. Приведено опис і результати випробування обладнання для дистанційного електроерозійного вирізання темплетів із корпусів ВВЕР-1000 жорстким електродом.

## ELECTROEROSION CUTTING OF LOW-SIZED TEMPLETS FROM WVER-1000 TYPE REACTOR VESSEL

*I.M. Neklyudov, L.S. Ozhigov, S.V. Gozhenko*

The article presents the results of developed method of electroerosion cutting of low-sized templets for the reactor vessel metal composition and structure control in laboratory environment. The article describes the equipment for the remote electroerosive cutting of templets from WVER-1000 type reactor vessel by rigid electrode. The testing results are also shown.

На рис. 12 приведен вырезанный темплет. Вырезка одного темплета таких размеров выполняется за одну рабочую смену. При этом износ медных электродов составляет 0,5...0,7 от длины прошиваемой полости.



Рис. 12. Вид темплета

## ВЫВОДЫ

Одностадийность и сравнительная простота автоматизации обуславливают перспективность метода электроэрозионного вырезания жесткими электродами малоразмерных темплетов для контроля состава и структуры металла корпусов реакторов.

Разработано оборудование для дистанционного вырезания малоразмерных темплетов с поверхности корпусов реакторов ВВЭР-1000.

Разработанное оборудование показало свою совместимость со стандартным оборудованием неразрушающего контроля корпусов реакторов и работоспособность в условиях, приближенных к реальным.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. С.В. Гоженко. Использование электродов-проволок при электроэрозионном вырезании образцов металла, находящегося в эксплуатации оборудования АЭС // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2007, №6, с. 94-96.

И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, С.В. Гоженко. Оборудование и опыт применения методики определения механических свойств металла с помощью микрообразцов при контроле ГЦТ энергоблоков АЭС Украины после длительной эксплуатации // *Сборник научных трудов СНИЯЭ и П (33)*. Севастополь, 2010, №1, с. 55-64.

Статья поступила в редакцию 01.03.2012 г.