

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ-ПРОВОЛОК ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОМ ВЫРЕЗАНИИ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

*С.В. Гоженко*

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

Рассмотрены особенности применения электроэрозионных методов при прямом определении свойств металла оборудования энергоблоков АЭС. Представлены результаты разработки комплекса оборудования для электроэрозионного вырезания электродом-проволокой темплетов металла и пример его использования при контроле основного металла главных циркуляционных трубопроводов ряда блоков АЭС Украины после длительных сроков эксплуатации.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем ядерной энергетики является увеличение срока эксплуатации энергоблоков АЭС. Для принятия решения по переназначению ресурса эксплуатации необходимо исследовать фактические свойства металла критических элементов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию энергоблоков. Только вырезки проб (темплетов) металла позволяют установить реальные свойства материалов корпуса с учетом всех факторов, которые влияли на него в процессе эксплуатации [1]. Нормативные документы требуют также проведения периодического контроля механических свойств оборудования АЭС [2].

Необходимость увеличения срока эксплуатации энергоблоков ВВЭР-440 первого поколения инициировала использование электроэрозионных методов для вырезки темплетов металла из корпусов реакторов. Металл их корпусов вследствие значительного загрязнения фосфором и медью подвержен наиболее сильному радиационному охрупчиванию. Были проведены вырезки на 1- и 2-м блоках АЭС Козлодуй, 3- и 4-м блоках НВАЭС.

Электроэрозионная вырезка темплетов производилась с использованием мобильных комплексов прошиванием криволинейной полости в корпусе жестким пластинчатым электродом толщиной ~1 мм; пережжение составляло ~1,5 мм [3]. Схема вырезания темплета приведена на рис. 1 [4].

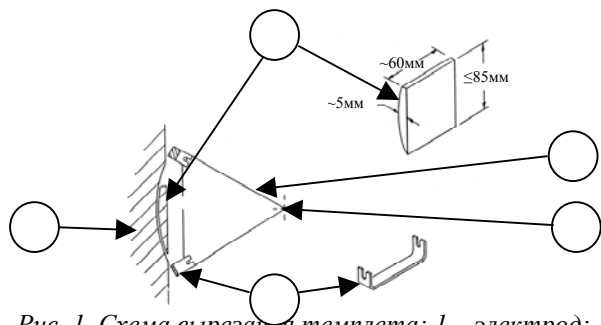


Рис. 1. Схема вырезания темплета: 1 – электрод; 2 – корпус реактора; 3 – темплет; 4 – рычаг

*вращения электрода; 5 – ось вращения концевого модуля*

В процессе вырезки электрод с помощью рычагов вращения продвигается через тело корпуса реактора и отделяет темплет от основного металла. В контролируемом объекте образуется цилиндрическая впадина с глубиной, превышающей более чем на 1 мм толщину вырезанного темплета. Цилиндрическая форма одной из поверхностей не позволяет уменьшить толщину темплета до размеров образцов для механических испытаний. Учитывая, что металл в области впадины необходимо после вырезки темплетов еще зашлифовать, находящиеся в эксплуатации объекты должны обладать значительным запасом прочности.

Целью работы является разработка оборудования для вырезки темплетов с минимально возможными снижениями конструкционной целостности контролируемых объектов.

## ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ВЫРЕЗАНИЕ ТЕМПЛЕТОВ ЭЛЕКТРОДОМ - ПРОВОЛОКОЙ

Интенсивное развитие технологии электроэрозионной обработки материалов в мире началось с 50-х годов прошлого столетия. В первой половине 70-х годов началось развитие электроэрозионного вырезания электродом-проволокой. Целью такого развития являлось повышение скорости и точности резания, увеличения размеров обрабатываемых заготовок. При электроэрозионном вырезании электродом-проволокой темплетов роль заготовок выполняют контролируемые элементы находящегося в эксплуатации оборудования. Используемое оборудование, соответственно, должно обладать повышенной мобильностью, возможностью работы в производственных условиях.

Использование электроэрозионного вырезания электродом-проволокой темплетов по сравнению с электроэрозионным прошиванием (жесткий

электрод) имеет ряд существенных отличий. В первую очередь – это возможность значительного уменьшения толщины реза. Постоянное протягивание проволоки через зону электроэрозионной обработки позволяет использовать электроды малого диаметра, уменьшая долю боковых импульсов. Отсутствие боковых импульсов вне зоны электроэрозионной обработки в сочетании с деформацией формы реза под действием внутренних напряжений в вырезаемом металле делает невозможным замену электрода до окончания процесса.

Отсутствие жесткости электрода обуславливает двухстадийность процесса. На первом этапе вокруг зоны вырезки формируют канавки для помещения проволочного электрода на уровень вырезки темплета (оконтуривание), на втором – непосредственное электроэрозионное отделение темплета от основного металла.

Малый радиус изгиба электрода-проволоки при прохождении канавки не позволяет работать при высоких натяжениях и величинах износа проволоки. Скорости вырезания темплетов значительно ниже скоростей резания стационарных аппаратов.

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫРЕЗКИ ТЕМПЛЕТОВ

Для электроэрозионного вырезания электродом-проволокой темплетов в ННЦ ХФТИ разработана установка "Микрорез". Она включает в себя следующие основные элементы: модуль оконтуривания, модуль электроэрозионного вырезания, генератор электроэрозионных импульсов, систему дистанционного контроля и управления, модуль крепления.

Работа модуля оконтуривания основана на одновременном шлифовании канавок двумя абразивными кругами (рис. 2).

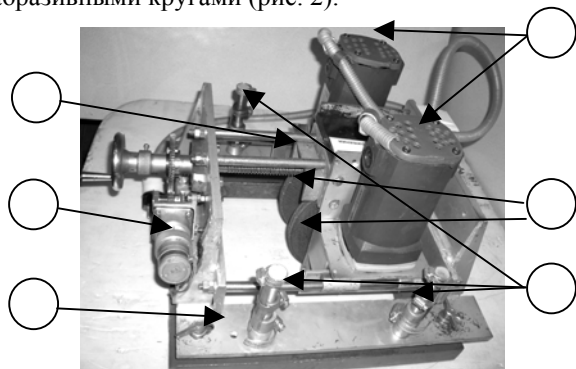


Рис. 2. Модуль оконтуривания: 1 – основание; 2 – привод горизонтального перемещения; 3 – каретка; 4 – привод вращения; 5 – абразивные круги; 6 – ограничители

Расстояние между кругами 60 мм, что обеспечивает получение темплетов шириной ~55 мм. Вертикальная подача кругов в модуле – ручная, горизонтальная – автоматизированная.

Модуль электроэрозионного вырезания показан на рис. 3. Импульсное питание его проводится от генератора через формователь. Это позволило

повысить стабильность процесса вырезки и располагать генератор на значительных расстояниях от места контроля. Сервопривод каретки стабилизирует фронтальный искровой промежуток.

Модуль крепления устанавливается на контролируемом объекте и служит основанием модулей оконтуривания и вырезания. Модуль согласует расположение канавок и электрод-проволоки.

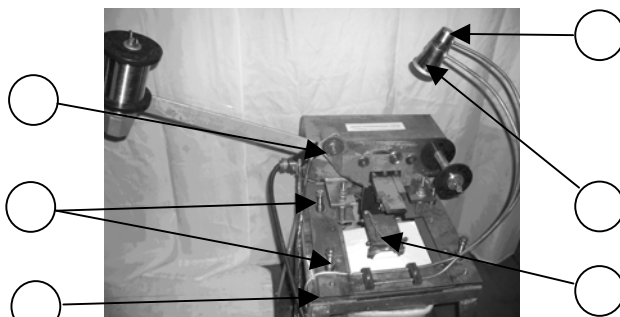


Рис. 3. Модуль электроэрозионного вырезания: 1 – основание; 2 – ограничители; 3 – узел перемотки; 4 – осветитель; 5 – видеокамера; 6 – каретка

Все работы по вырезке темплетов контролируются системой видеорегистрации. Система содержит модульные видео- и интернет-камеры, установленные на шарнирные стойки модулей. Видеонаблюдение и управление процессом вырезки проводится персоналом из безопасного помещения (на отдалении ~50 м от места вырезки).

При вырезании темплета (сталь 10ГН2МФА) шириной 60 мм латунным электродом-проволокой диаметром 0,2 мм средняя скорость резания составляет ~3 мм/ч; толщина реза ~0,3 мм. Для предотвращения обрыва проволоки скорость резания в начале и конце процесса вырезки пониженная.

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

В атомной энергетике Украины использование установок "Микрорез" регламентируется "Методикой определения механических свойств металла оборудования и трубопроводов АЭС с помощью микрообразцов" [5]. Для сохранения эксплуатационных характеристик контролируемых объектов вырезка темплетов проводится из материала технологических допусков.

В соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок" [2] объектом контроля являлся металл главных циркуляционных трубопроводов (ГЦТ). Проведена вырезка темплетов из ГЦТ 7 энергоблоков АЭС Украины. Размер темплетов определялся исходя из результатов измерений толщин стенок соответствующих участков трубопроводов с учетом необходимости последующей шлифовки мест вырезки.

Результаты проведенных вырезов показаны в таблице, из которой видно, что только в отдельных местах допустимо вырезание материала в количестве, достаточном для изготовления образцов стандартных размеров. После вырезки темплеты использовались для прямого определения механических свойств основного металла ГЦТ методом микрообразцов [6-9].

## ВЫВОДЫ

Разработана, изготовлена и использована мобильная установка для электроэрозионного вырезания электродом-проволокой образцов металла находящегося в эксплуатации оборудования АЭС.

**Толщина вырезанных темплетов из ГЦТ на РАЭС, ЗАЭС и ЮУ АЭС**

Энергоблоки АЭС	Толщина стенки, мм	Минимально допустимая толщина стенки, мм	Толщина вырезанного темплета, мм	Минимальная толщина стенки после вырезки темплета (с учетом шлифования поверхности), мм
РАЭС, блок № 1	43	34	4,7	36,8
РАЭС, блок № 2	38,3	34	1,6	36,1
РАЭС, блок № 3	94,8	63,1	4,2	82,2
ЮУ АЭС, блок № 1	87	63,1	3,5	81
ЮУ АЭС, блок № 2	86,5	63,1	4,0	82,2
ЮУ АЭС, блок № 3	87,2	63,1	3,2	82,1
ЗАЭС, блок № 1	83,1	59	4,4	79,1

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.Д. Амаев, А.М. Крюков, И.М. Неклюдов, А.М. Паршин, П.А. Платонов, А.Н. Тихонов, Н.С. Хлопкин, Я.И. Штромбах. Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов // *Политехника*. 1997, с. 312.
2. *Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок*. ПНАЕ Г-7-008-89.
3. IAEA – WWER 440 RPV Embrittlement and Annealing – March '94
4. Report on Annealing of the Novovoronezh Unit 3 Reactor Vessel in the USSR/NUREG/CR-5760, MPR-1230, July 1991
5. *Методика определения механических свойств металла оборудования и трубопроводов АЭС с помощью микрообразцов*. РД.00.ЕК.ХФ.МО.М.09-09.
6. В.Ф. Зеленский, И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов и др. Использование микрообразцов для контроля механических свойств и эволюции микроструктуры основного металла главного циркуляционного трубопровода (сталь 10ГН2МФА) энергоблока № 1 ОП ЮУ АЭС после 100 тыс. ч эксплуатации // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»* (78). 2000, № 4, с. 63–75.
7. И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов и др. Результаты исследований механических свойств металла трубопроводов энергоблока № 2 ОП ЮУ АЭС после 100 тыс. ч эксплуатации // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»* (85). 2004, № 3, с. 52–58.
8. И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, С.В. Гоженко и др. 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*. Севастополь, 2004, в. 12, с. 107-113.
9. И.М. Неклюдов, В.М. Ажажа, Л.С. Ожигов и др. Результаты исследований механических свойств металла трубопроводов энергоблока № 3 Южноукраинской АЭС после 100 тыс. ч эксплуатации // *ВАНТ. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»* (90). 2007, № 2, с. 101–106.

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОДІВ – ДРОТІВ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ВИРІЗАННІ ЗРАЗКІВ МЕТАЛУ ОБЛАДНАННЯ АЕС, ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ У ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*С.В. Гоженко*

Розглянуто особливості застосування електроерозійних методів при прямому визначенні властивостей металу обладнання енергоблоків АЕС. Представлено результати розробки комплексу встаткування для електроерозійного вирізання електродом - дротом темплетів металу й приклад його використання при контролі основного металу головних циркуляційних трубопроводів ряду блоків АЕС України після тривалих термінів експлуатації.

## APPLICATION OF WIRE ELECTRODES IN ELECTRIC DISCHARGE MACHINING OF METAL SAMPLES OF REACTOR BLOCKS OF THE OPERATIVE ATOMIC POWER STATION

***S.V. Gozhenko***

Features of application of electroerosive methods are considered during the process of direct definition of properties of metal of the equipment of power units of the atomic power station. Results of development of a complex of the equipment for wire electric discharge machining of metal templet and its use are presented at the control of the basic metal of the main circulating pipelines over blocks of the atomic power station of Ukraine over long terms of operation.