

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГОБЛОКА №2 ОП ЮУ АЭС ПОСЛЕ 100 ТЫС. ЧАСОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*И.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, А.С. Митрофанов, С.В. Гоженко, В.И. Савченко,  
В.В. Брык, Н.Д. Рыбальченко, Е.А. Крайнюк  
ИФТТМТ ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина;  
А.В. Бажуков, П.Е. Мельник, В.В. Алексейчук  
ОП ЮУ АЭС, г. Южноукраинск, Украина*

Определены механические свойства металла трубопроводов второго энергоблока ЮУ АЭС по корреляционным зависимостям основных характеристик механических свойств с твердостью на стандартных образцах, изготовленных из катушек трубопроводов питательной воды и острого пара, а также на микрообразцах, изготовленных из темплета главного циркуляционного трубопровода. Проведены микроструктурные исследования отработавшего металла. С помощью растровой микроскопии изучена фрактография поверхности разрушения образцов, испытанных на растяжение и ударный изгиб.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с требованиями правил по безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (АЭУ) контроль механических свойств металла трубопроводов выполняют разрушающими и (или) неразрушающими методами не реже, чем через каждые 100 тыс. ч эксплуатации для АЭУ с водо-водяным реактором (ВВЭР) [1]. Периодический контроль механических свойств основного металла и сварных соединений трубопроводов обусловлен необходимостью выявления и анализа изменений физико-механических свойств с целью проверки их соответствия:

- сертификатам, стандартам и техническим условиям (ТУ) на металл трубопроводов;
- действующей нормативно-технической документации (НТД);
- исходным значениям механических свойств металла трубопроводов АЭУ.

В качестве методов контроля механических свойств металла трубопроводов после 100 тыс. ч эксплуатации были использованы:

- 1) контроль механических свойств на стандартных образцах;
- 2) контроль уровня механических свойств на основе корреляции основных механических свойств металла трубопроводов с твердостью [2];
- 3) контроль механических свойств на микрообразцах, вырезанных из металла трубопроводов без нарушения конструкционной целостности и прочности изделий [3].

### 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА НА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦАХ

Для определения механических свойств на стандартных образцах была произведена вырезка катушек из трубопроводов острого пара (сталь 16ГС) и питательной воды (сталь 20). Из вырезанных катушек были изготовлены образцы следующей номенклатуры:

- по 12 образцов №8, тип III по ГОСТ 1497-84 – продольных;
- по 12 образцов №8, тип III по ГОСТ 1497-84 – поперечных;
- по 9 образцов типа 11 по ГОСТ 9454-78 – продольных;
- по 9 образцов типа 11 по ГОСТ 9454-78 – поперечных.

Для подробного анализа эволюции механических свойств металла трубопроводов в процессе эксплуатации были изготовлены и испытаны стандартные образцы с исходным состоянием металла:

- тройник равнопроходный (сталь 16 ГС);
- катушка трубопровода питательной воды,  $\varnothing$  426x24 мм (сталь 20).

Изменение механических свойств металла трубопроводов в процессе эксплуатации определялось путем сравнения результатов испытаний стандартных образцов с исходным состоянием металла и после 100 тыс. ч наработки. Проводилось также сравнение полученных результатов с требованиями ТУ-3-923-75, ТУ-14-3-460-75, ПНАЭ Г-7-002-86.

Испытания на растяжение проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84. По результатам испытаний определяли следующие механические характеристики:

- $R_m$  – предел прочности;
- $R_{0,2}$  – условный предел текучести;
- $A$  – относительное удлинение;
- $Z$  – относительное сужение.

Испытания проводили на универсальной испытательной машине 1246P-2/2300 производства НИКИМП с максимальной нагрузкой 2000 кгс при скорости перемещения подвижного захвата 2 мм/мин. Установка снабжена двухкоординатным электронным потенциометром для записи диаграмм растяжения в координатах “нагрузка-перемещение” в широком интервале масштабов по осям “P” и “L”.

Испытания на ударную вязкость проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78 на образцах Шарпи с V-образным надрезом и выполняли на маятниковом копре с предельной нагрузкой 30 кгс·м

типа WPM (Лейпциг), 408/44. Результаты сравнения механических свойств металла трубопроводов с исходным состоянием и после наработки 100 тыс. ч представлены в табл. 1–4.

По отношению к результатам испытаний исходного металла обнаружена тенденция к упрочнению и снижению пластичности после 100 тыс. ч эксплуатации. Сравнение полученных результатов и их анализ свидетельствуют о том, что механические свойства металла трубопроводов после длительной эксплуатации соответствуют данным нормативно-технической документации.

**Таблица 1**  
**Сравнение механических свойств стали 16ГС при 20°С в исходном состоянии и после 100 тыс. ч эксплуатации**

	R <sub>m</sub> , гс/мм <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	Z, %	A, %
Среднее значение механических свойств исходных образцов	52,5	33,2	49,7	36,0
Среднее значение механических свойств образцов после 100 тыс. ч эксплуатации	53,9	35,9	49,0	33,0
Отличие, %	+2,6	+7,5	-1,4	-9,1

**Таблица 2**  
**Сравнение механических свойств стали 16ГС при 350°С в исходном состоянии и после 100 тыс. ч эксплуатации**

	R <sub>m</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	Z, %	A, %
Среднее значение механических свойств исходных образцов	55,2	31,8	42,8	29,8
Среднее значение механических свойств образцов после 100 тыс. ч эксплуатации	55,7	30,7	43,9	34,6
Отличие, %	+0,9	-3,6	+2,5	+13,9

**Таблица 3**  
**Сравнение механических свойств стали 20 при 20°С в исходном состоянии и после 100 тыс. ч эксплуатации**

	R <sub>m</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	R <sub>p0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	Z, %	A, %	KCV, кгс·м/см <sup>2</sup>
Среднее значение механических свойств исходных образцов	48,3	30,5	50,3	30,9	6,9
Среднее значение механических свойств образцов после 100 тыс. ч эксплуатации	49,1	32,0	48,1	29,0	6,1
Отличие, %	+1,6	+4,7	-4,6	-6,6	-13,1

**Таблица 4**  
**Сравнение механических свойств стали 20 при 350°С в исходном состоянии и после 100 тыс. ч эксплуатации**

	R <sub>m</sub> , гс/мм <sup>2</sup>	R <sub>p0</sub> , гс/мм <sup>2</sup>	Z, %	A, %
Среднее значение механических свойств исходных образцов	47,0	27,5	61,0	29,5
Среднее значение механических свойств образцов после 100 тыс. ч эксплуатации	47,3	28,7	9,5	28,2
Отличие, %	+0,6	+4,2	-2,5	-4,6

Металлографические исследования, оценку микроструктуры, определение содержания примесных включений проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 5639-82, ГОСТ 5640-68, ГОСТ 1778-70.

*Трубопровод питательной воды К ПГ-1,  
Ø 426X24 ММ, сталь 20*

В структуре металла трубопровода наблюдается разнотерность, имеющая островной характер – т.е. группы крупных и мелких зёрен незакономерно распределены по объёму. Это наблюдалось при ис-

следовании образцов, вырезанных из разных участков трубопровода.

Загрязнённость неметаллическими включениями не обнаружена. Имеются отдельные, незначительные, редко встречающиеся включения сульфидов и оксидов. Микроструктура – типичная для данной стали, состоящая из феррита и перлита, с большим содержанием феррита, зёрна которого равноосной формы. Средний размер зерна равен 20 мкм.

*Трубопровод острого пара ОТ ПГ-2, Ø 630X25 мм, сталь 16ГС*

Микроструктура трубопровода острого пара соответствует стали феррито-перлитного класса, состоящей из очень мелких зёрен феррита и перлита. Средний размер зёрен составляет 18 мкм.

Металлографический анализ металла трубопровода после эксплуатации показал, что содержание неметаллических включений в металле составляет по шкале ГОСТ 1778-70: сульфиды – 2 балла, оксиды – 3 балла, что соответствует требованиям ТУ-3-923-75.

*Тройник равнопроходный, Ø630×80, сталь 16ГС (исходное состояние)*

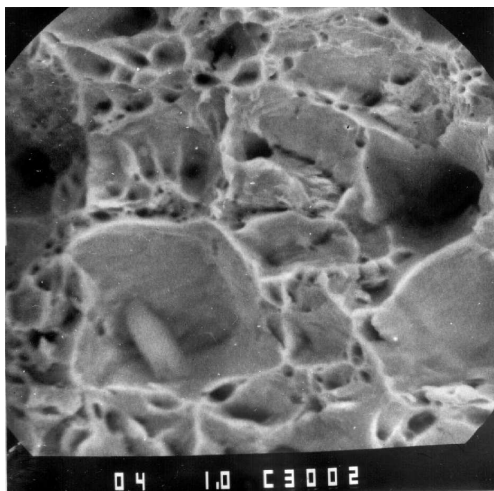
Микроструктура тройника равнопроходного соответствует стали феррито-перлитного класса, состоящей из равноосных зёрен феррита и перлита, средний размер которых составляет 35...40 мкм.

При исследовании на неметаллические включения обнаружены отдельные сульфиды – 2 балла. Имеются также оксиды в незначительном количестве.

В результате проведенных металлографических исследований было установлено, что структура исследованных сталей удовлетворяет требованиям технических условий на металл трубопроводов.

Фрактографические исследования поверхности разрушения образцов проводили на электронном микроскопе JEMCX при помощи растровой приставки ASID-4D при ускоряющем напряжении 40 кВ.

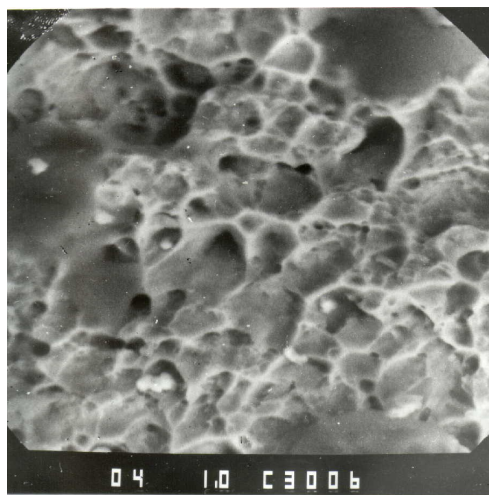
На рис. 1 приведена фрактография поверхности излома образца из стали 20, испытанного на растяжение при 20 °С. Виден вязкий ямочный отрыв.



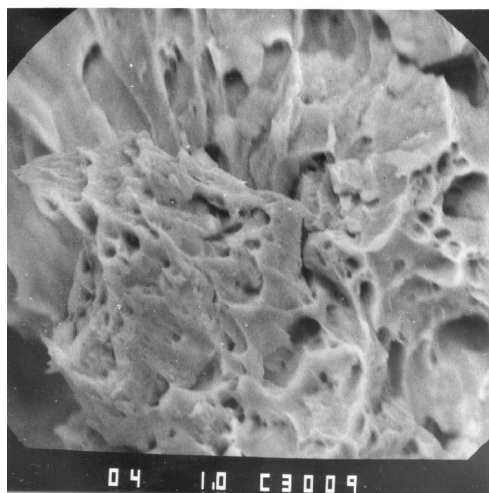
*Рис. 1. Образец трубопровода питательной воды после испытаний на растяжение: фасетки, ямки, выделения; × 1000*

На рис. 2 показана фрактография поверхности отрыва образца из стали 16ГС, испытанного на растяжение при 350 °С.

На рис. 3 изображена фрактография поверхности излома образца из стали 20, испытанного на ударный изгиб. Виден вязкий ямочный характер разрушения, характеризующий высокую пластичность стали 20.



*Рис. 2. Образец трубопровода острого пара после испытаний на растяжение: вязкий ямочный отрыв; × 1000*



*Рис. 3. Образец трубопровода питательной воды после испытаний на ударный изгиб: вязкий излом; × 1000*

Фрактографические исследования характера разрушения образцов свидетельствуют о том, что материал разрушился вязко, в нем отсутствуют элементы хрупкого излома, усталостные бороздки не наблюдаются.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДОВ ПО ТВЕРДОСТИ

Механические свойства металла трубопроводов определялись в соответствии с разработанной ВНИ-ИАЭС инструкцией РД ЭО 0027-94 "Определение характеристик механических свойств оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости" [2] для сталей 20, 10ГН2МФА, 08Х18Н10Т, 15ГС, 16ГС.

Учитывая то обстоятельство, что приведенные в инструкции формулы справедливы для исходного состояния металлов и только в узком диапазоне структурных состояний, проведена проверка корреляционных зависимостей между механическими свойствами и твердостью для сталей, отработавших 100 тыс. ч. Для этого было проведено сравнение характеристик механических свойств сталей, полученных расчетом по твердости, и испытаниями на стандартных образцах. Результаты сравнения показаны в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Сравнение механических свойств стали 16ГС

Место вырезки образцов	НВ	R <sub>m</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>			R <sub>p0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>			A, %			Z, %		
		Расч.	Факт.	Отл. %	Расч.	Факт.	Отл. %	Расч.	Факт.	Отл. %	Расч.	Факт.	Отл. %
ЮУ АЭС – 2	137	48	52,5	-9,4	27,6	33,2	-20,3	31,1	36	-15,8	65,0	49,8	+23,4
ЮУ АЭС – 2	142	49,7	53,9	-8,5	30,3	35,9	-18,5	30,4	33	-8,6	62,5	49,0	+21,6
ЗАЭС – 1	153	53,6	54,5	-1,8	36,3	36	+0,8	29	25	+13,8	56,7	71,0	-25,2
ЗАЭС – 1	163	57,1	53	+7,2	41,7	34	+18,5	27,6	28,5	-3,3	51,4	73,0	-42,0
Среднее значение	149	52,2	53,5	-3	34,1	34,8	-2	29,5	30,6	-4	58,8	60,7	-4

Таблица 6

Сравнение механических свойств стали 20

Место вырезки образцов	НВ	R <sub>m</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>			R <sub>p0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>			A, %			Z, %		
		Расч.	Факт.	Отл. %	Расч.	Факт.	Отл. %	Расч.	Факт.	Отл. %	Расч.	Факт.	Отл. %
ЮУ АЭС – 2	137	51,5	49,1	+4,7	32,5	32	+1,5	31	29	+6,5	57,7	48,1	+16,6
ЗАЭС – 1	146	54,0	49,4	+8,5	35,1	30,8	+12,3	29,9	34,9	-16,7	60,4	69,0	-14,2
Среднее значение	142	52,9	49,3	+7	34,0	31,4	+8	30,6	32,0	-5	62,5	58,6	-7

Из приведенных данных видно, что формулы, показанные в инструкции с учетом погрешности [2], справедливы и для сталей, отработавших 100 тыс. ч. Поэтому расчет механических свойств проводился в дальнейшем по формулам инструкции.

Сравнение полученных результатов с требованиями нормативной документации показывают, что они не ниже соответствующих значений, приведенных в нормативных документах.

### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ МИКРООБРАЗЦОВ

Целью работы, результаты которой изложены в настоящем разделе, явилось определение прямыми методами механических свойств основного металла главного циркуляционного трубопровода после 100 тыс. ч. эксплуатации без нарушения конструкционной целостности и прочности.

Произведена электроэрозионная вырезка темплета (рис. 4) из основного металла главного циркуляционного трубопровода. Ультразвуковая толщинометрия показала, что толщина стенки трубопровода

составляет 87...88,1 мм при минимально допустимой толщине не менее 63,1. На выбранном участке трубопровода был организован участок для вырезки темплета, подведены соответствующие коммуникации для обеспечения работы комплекса "Микрорез".

Размеры вырезанного с ГЦТ темплета металла: длина 60; ширина 60; толщина 3,5 мм.



Рис. 4. Темплет металла ГЦТ

По завершению работ была произведена механическая зачистка места вырезки с обеспечением плавных переходов до шероховатости Ra ~1.25 мкм. В месте извлечения темплета выполнен капиллярный контроль и контроль толщины стенки колена. Результаты контроля удовлетворительные.

Для выполнения целей и задач, возложенных на методику микрообразцов, определялись:

- прямыми методами механические свойства на растяжение (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение) при температурах 20 и 350°С;
- ударная вязкость при температуре 20°.

Из вырезанного темплета были изготовлены образцы:

- для механических испытаний с размерами рабочей части 17x3 x3 мм;
- для испытаний на ударный изгиб 2x8x55 мм с V-образным надрезом.

Испытания образцов на растяжение проводили на универсальной испытательной машине 1246P-2/2300 (производство НИКИМП). Испытания на растяжение были проведены на воздухе при комнатной температуре и при 325°С в вакууме.

Диаграмма растяжения стали после 100 тыс. ч эксплуатации по внешнему виду характерна для пластичных металлов, разрушение которых происходит с образованием шейки. Появление шейки определяет переход от равномерной деформации всей рабочей части образца к сосредоточенной деформации в определенном сечении.

В табл. 7-8 приведены результаты механических испытаний отработавшего металла в сравнении с НТД:

- ПНАЭ Г-7-002-86
- ТУ 975 Е004511 ред.5
- паспортом.

Сравнение полученных результатов, их анализ свидетельствуют о том, что механические свойства металла ГЦТ после 100 тыс. ч эксплуатации соответствуют данным нормативно-технической документации.

По отношению к паспортным данным и результатам испытаний исходного металла обнаружена тенденция к упрочнению после 100 тыс. ч эксплуатации. При этом предел текучести отработавшего металла увеличился больше, чем предел прочности.

Таблица 7

Результаты механических испытаний при 20°С образцов основного металла ГЦТ после 100 тыс. ч эксплуатации

	R <sup>t</sup> <sub>m</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	R <sup>t</sup> <sub>p 0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	A, %	Z, %
ПНАЭ Г-7-002-86	не менее			
	55	35	16	55
ТУ 975 Е004511. Ред.5	55...65	35...50	≥16	≥55
Паспорт	56,9	43,9	26,7	75,6
Результаты испытаний исходного металла	59	44	28	75
Результаты испытаний металла после 100 тыс. ч эксплуатации	60,8	50	25,8	74
Изменение свойств отработавшего металла по отношению к паспортным данным, %	+3	+13,9	-3,4	-2,1
Изменение свойств отработавшего металла по отношению к исходному металлу, %	+3	+13,6	-8	-1,9

Таблица 8

Результаты механических испытаний при 350°С образцов основного металла ГЦТ после 100 тыс. ч эксплуатации

	R <sup>t</sup> <sub>m</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	R <sup>t</sup> <sub>p 0,2</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	A, %	Z, %
ПНАЭ Г-7-002-86	не менее			
	50	30	14	50
ТУ 975 Е004511. Ред.5	не менее			
	50	30	14	50
Паспорт	52	38,3	21,8	68,7
Результаты испытаний исходного металла	52,5	39	26,5	71
Результаты испытаний металла после 100 тыс. ч эксплуатации	53	40	21	69
Изменение свойств отработавшего металла по отношению к паспортным данным, %	+2	+4,4	-3,7	+0,4
Изменение свойств отработавшего металла по отношению к исходному металлу, %	+1	+2,5	-21	-2,8

Для испытаний на ударную вязкость использовали маятниковый копер WPM-30 (производство Гер-

мания). Испытания проводили при комнатной температуре в соответствии с требованиями ТУ.

В соответствии с ПНАЭ Г-7-002-86 в атомной энергетике основным типом образцов для испытаний на ударный изгиб является образец Шарпи тип 11 (V-образный надрез 10x10x55 мм).

Вместе с тем ГОСТ 9454-78 допускает использование образцов других размеров, в частности, типа 14 (2x8x55 мм с V-образным надрезом). Учитывая влияние масштабного фактора на результаты испытания на ударный изгиб, необходимо вводить попра-

вочные коэффициенты, позволяющие откорректировать полученные результаты на данные, которые были бы получены при испытании образцов типа 11. Полученные результаты приведены в табл. 9. Металлографические исследования, оценка микроструктуры, определение процентного содержания феррита и перлита выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 5639-82, ГОСТ 5640-68, ГОСТ 8233-56.

Таблица 9

Ударная вязкость KCV (кгс·м/см<sup>2</sup>) образцов металла ГЦТ после 100 тыс. ч эксплуатации

Толщина образца, м; Тип	I микрон	I			Примечание
		2 14	5 13	10 11	
Изделие					
Исходная катушка ГЦТ	8,7	12,1	23,2	27,1	По ТУ975Е000451 (ред. 5) для типа 11 не менее 4,8. По этим данным определены корреляционные соотношения
ГЦТ 1-го блока ЮУ АЭС после 100 тыс. ч эксплуатации	-	9,6		21,6	По паспорту 21,0 кгс·м/см <sup>2</sup> (без изменения KCV)
ГЦТ 2-го блока ЮУ АЭС после 100 тыс. ч эксплуатации	-	10,8		24,2	По паспорту 28,3 кгс·м/см <sup>2</sup> (снижение KCV на 14,5%)

На рис. 5 показана характерная микроструктура металла ГЦТ после 100 тыс. ч эксплуатации. Средний размер зерна феррита составляет 9...10 баллов согласно эталонов ГОСТ 5639-82,  $d_{\text{ферр.}} \approx 14-10$  мкм. Процентное содержание перлитной и ферритной составляющей равно 65 % перлита на 35 % феррита. Металлографический анализ показал, что содержание неметаллических включений в металле составляет: сульфиды – 1,5 балла, окиссульфиды или силикаты – 1...1,5 балла, нитриды, карбонитриды – 2 балла по шкалам нитридов точечных и 1 балл строчечных. (Содержание неметаллических включений определяли по соответствующим шкалам ГОСТ 1778-70).

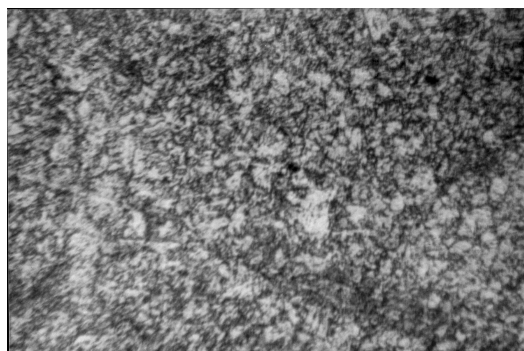


Рис. 5. Микроструктура металла ГЦТ после 100 тыс. ч эксплуатации;  $\times 300$

Установлено, что металл главного циркуляционного трубопровода по параметрам микроструктуры, величине, количеству неметаллических включений

соответствует требованиям технических условий и близок к исходному состоянию.

Изучен характер разрушения образцов, испытанных на растяжение и на ударный изгиб.

На рис. 6 показана фрактография поверхности излома (отрыва) образца, испытанного на растяжение. Виден вязкий ямочный характер разрушения, характеризующий высокую пластичность стали ГЦТ. Излому путем отрыва предшествует интенсивное сосредоточенное удлинение с последующим образованием шейки.

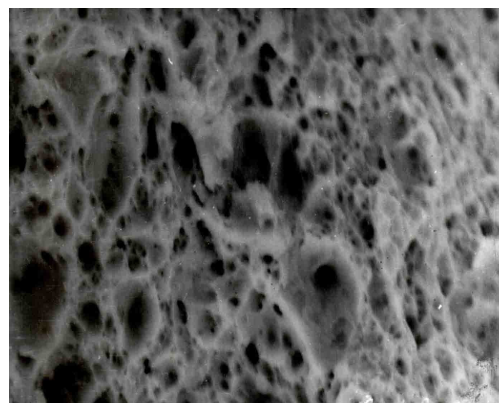


Рис. 6. Образец главного циркуляционного трубопровода после испытаний на растяжение: ямочный отрыв;  $\times 1750$

На рис. 7 приведена фрактография поверхности излома образцов, испытанных на ударный изгиб. Наблюдается вязкое транскристаллитное разрушение. Видны ямки с неметаллическими включениями.

Поверхность излома и ямки в изломе характеризуют высокую пластичность стали.

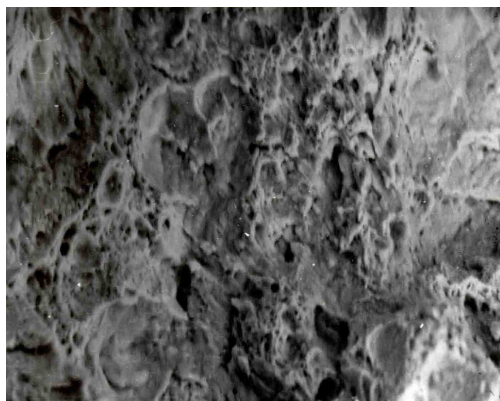


Рис. 7. Образец главного циркуляционного трубопровода после испытаний на ударный изгиб: излом;  $\times 1750$

Фрактографические исследования наряду с механическими испытаниями на растяжение и испытаниями на ударный изгиб подтвердили, что металл главного циркуляционного трубопровода (сталь 10ГН2МФА) после эксплуатации в течение 100 тысяч ч сохранил вязкий характер разрушения и высокую пластичность.

## 5. ВЫВОДЫ

1. Разрушающими и неразрушающими прямыми методами определены механические свойства металла на стандартных образцах и микрообразцах трубопроводов реакторного и турбинного отделений энергоблока №2 ЮУ АЭС после 100 тыс. ч эксплуатации, включая ГЦТ, трубопроводы САОЗ, дыхательный трубопровод, трубопроводы острого пара и питательной воды. Определены предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость. Проведена фрактография изломов образцов и микроструктурные исследования. Выполнен расчет механических свойств металла трубопроводов по твердости.

2. Установлено, что механические свойства и структура металла трубопроводов соответствуют нормативным документам, сертификатам и техническим условиям на трубопроводы.

3. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что после 100 тыс. ч эксплуатации

имеет место тенденция к упрочнению металла и снижению пластичности и ударной вязкости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ПНАЭ Г-7-008-89. *Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.*
2. Инструкция РД ЭО 0027-94. *Определение характеристик механических свойств металла оборудования атомных электростанций безобразцовыми методами по характеристикам твердости.*
3. РД.00.ЭК.ХФ.МО.М.09-99. *Методика определения механических свойств металла оборудования и трубопроводов АЭС с помощью микрообразцов.*
4. ПНАЭ Г-7-002-86. *Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.*
5. ПНАЭ Г-7-010-89. *Оборудование и трубопроводы АЭУ. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.*
6. ГОСТ 1497-84. *Металлы. Методы испытаний на растяжение.*
7. ГОСТ 9651-84. *Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах.*
8. ГОСТ 9454-78. *Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах.*
9. ГОСТ 5639-82. *Сталь и сплавы, методы выявления и определения величины зерна.*
10. ГОСТ 5640-68. *Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты.*
11. ГОСТ 11878-66. *Сталь аустенитная; методы определения содержания  $\alpha$ -фазы.*
12. ГОСТ 8233-56. *Сталь, эталоны микроструктуры.*
13. ТУ-14-3-460-75. *Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов.*
14. ТУ975Е004511. *Ред. 5. Трубы бесшовные плакированные.*
15. ТУ 14-3-197-89. *Трубы бесшовные из коррозионностойких марок стали с повышенным качеством поверхности.*
16. МИ 1317-86. *Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений.*

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ТРУБОПРОВІДІВ ЕНЕРГОБЛОКУ №2 ВП ЮУ АЕС ПІСЛЯ 100 ТИС. ГОДИН ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*І.М. Неклюдов, Л.С. Ожигов, А.С. Митрофанов, С.В. Гоженко, В.В. Брик, Н.Д. Рибальченко, В.І. Савченко, Є.О. Крайнюк, А.В. Бажуков, П.Є. Мельник, В.В. Алексейчук*

Визначено механічні властивості металу трубопроводів другого енергоблоку ЮУ АЕС по кореляційним залежностям основних характеристик механічних властивостей та твердості; на стандартних зразках, виготовлених із котушок трубопроводів живильної води та гострого пару; на мікроразках, виготовлених із темплету головного циркуляційного трубопроводу. Проведено мікро структурні дослідження відпрацьованого металу. З допомогою растрової мікроскопії вивчена фрактографія поверхні зруйнування зразків, випробуваних на розтягування та ударний вигиб.

**THE RESULTS OF RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE PIPELINE METAL OF SOUTH UKRAINIAN APS POWER BLOCK N2 AFTER 100,000 HOURS OF EXPLOITATION**

*I.M. Neklyudov, L.S. Ozhigov, A.S. Mitrofanov, S.V. Gozhenko, V.V. Bryk, N.D. Rybalchenko, V.I. Savchenko, E.A. Krainyuk, A.V. Bazhukov, P.E. Melnik, V.V. Alexeychuk*

Mechanical properties of the pipeline metal of South Ukrainian NPP-2 are determined; they were correlated with metal hardness; standard test specimens of direct steam and feed water pipeline were tested; microspecimens of main circulating pipeline template were tested. Microstructure research of exhausted metal was carried out. Surface fractography of Charpy impact and tension tested specimens was studied by means of scanning microscope.