

показують, що на окремих ділянках потенційне зношування проміжних колон може складати 1÷3 мм. Вказану обставину необхідно враховувати при проектуванні робіт на спорудження похило-скерованих свердловин та при їх подальшій експлуатації.

1. Киссельман М.Л. Износ и защита обсадных колон при глубоком бурении. – М.: Недра, 1971. –207с.
2. Эрлих Г.М., Вартанова Н.А. Ревизкий Э.И. Новая методика расчета обсадных колон на износ от трения // Нефтяное хозяйство, №7, 1962. –С.41-47.

3. Александров А.А. Определение сил сопротивления при бурении скважин. – М.: Недра, 1965. –189с.
4. Тимошенко С.П. Гере Дж. Механика материалов. / Пер. с англ. Корнейчука Л.Г. – М.: Мир, 1976. – 669с.
5. Танкибаев М.А. Исследование основных причин явлений желобообразования на стенках бурящейся скважины. / Изв. АН Каз. ССР, №3, 1966. – С.34–39.
6. Измайлов Л.Б. Методы повышения долговечности обсадных колонн. – М.: Недра, 1984. –182с.
7. Мамедов А.А. Предотвращение нарушений обсадных колонн. –М.: Недра, 1990. – 238с.

УДК: 539.3

## ВЛИЯНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОПРОВОДОВ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

© Лобанов Л.М., Бондаренко Ю.К., Бондаренко А.Ю., 2006  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,

© Громьяк Ю.Р., 2006  
ЗАТ НТЦ «Промтехдиагностика», г. Ивано-Франковск

**Приведені результати дослідження коерцитивної сили у зварних швах газопроводу “Борислав-Дрогобич”, визначені залишкові ресурси експлуатації окремих елементів цього газопроводу. Для проведення досліджень використовувалися коерцитиметри, а також інші відомі технічні засоби неруйнівного контролю**

Роль сварных конструкций, широко используемых в строительстве, энергетике, транспорте, судостроении и других отраслях промышленности, неуклонно растет. Они работают на земле, под водой, в космосе, при нормальных, высоких и криогенных температурах, в агрессивных средах и в условиях интенсивного радиационного облучения. Поэтому непрерывно повышаются требования к их качеству, надежности и долговечности, что вызывает необходимость поиска новых конструктивно-технологических решений, совершенствования методов расчета, всестороннего исследования прочности сварных соединений, оптимизации технологий изготовления конструкций [1].

Большинство эксплуатируемых во многих странах ответственных сварных конструкций приближается к своему критическому возрасту. Особое беспокойство вызывает техническое состояние магистральных газо- и нефтепроводов. Возрастающая доля старых трубопроводов, отработавших свой нормативный срок, является одной из главных причин возникновения аварий.

В настоящее время срок службы около половины магистральных нефтегазопроводов превышает нормативный срок 33 года или близок к

нему. Это обусловлено значительными сроками службы нефтепроводов, снижением их несущей способности вследствие деформационного старения и накопления повреждений в металле труб и в сварных швах и, как следствие, увеличением риска аварий [2].

При оценке остаточного ресурса и продлении срока службы газонефтепроводов необходимо рассматривать конкретные участки магистрального трубопровода, которые уже отработали назначенный срок службы и эксплуатируются в опасных зонах. В этой связи их состояние должно быть уточнено на основе технического освидетельствования (мониторинга) с анализом имевшихся повреждений и причин, их вызвавших [3].

Таким образом, по результатам оценки остаточного ресурса с учетом фактического технического состояния срок службы магистрального трубопровода может быть продлен без снижения уровня безопасности его эксплуатации.

Для оценки влияния срока эксплуатации газопроводов на поврежденность структуры металла кольцевых стыковых сварных соединений были проведены комплексные испытания при

мониторинге участка газопровода Борислав–Дрогобыч протяженностью 19 км. Дата введения газопровода в эксплуатацию — 1964 г. Трубопровод был изготовлен из труб из стали Ст 20, диаметром 273 мм, толщиной стенки 8 мм и проходит через две реки.

Комплексные испытания во время мониторинга проводились с использованием магнитного метода - коэрцитиметрии, а также ультразвукового метода, твердометрии, рентгенографии, толщинометрии с последующей регистрацией полученных результатов.

Предварительно по разработанной методике были проведены механические испытания образцов сварных соединений в лаборатории института электросварки им. Е.О. Патона с применением магнитного метода.

В процессе испытаний было определено:

1) исходные (до нагружения) значения

величины коэрцитивной силы (в направлении перпендикулярном сварному шву);

2) значение величины коэрцитивной силы при последующем приложении напряжения равного пределу текучести  $\sigma_T$ ;

3) значение величины коэрцитивной силы при напряжении равном пределу прочности  $\sigma_B$  (предельное состояние).

Результаты испытаний сварных образцов представлены в табл. 1.

Для определения пороговых значений коэрцитивной силы в сварном шве и ЗТВ был проведен расчет на основе разработанной методики и данных, полученных при разрушающих испытаниях.

Величина коэрцитивной силы образцов со сварным швом и ЗТВ определялась на основе формул, приведенных в разработанной методике [4].

Таблица 1 – Результаты испытаний сварных образцов

Состояние образца:	Средние значения коэрцитивной силы в точках измерения, А/м		
	1-1	2-2 и 2'-2'	3-3 и 3'-3'
в исходном состоянии	299	187	170
при напряжении равном $\sigma_T$	465	365	350
при напряжении равном $\sigma_B$	790	711	700

Таким образом, в результате проведенных исследований в процессе разрушающих испытаний сварных образцов и последующего расчета были получены значения величины коэрцитивных сил  $H_c^{zms}$  и  $H_c^{zu}$  в исходном состоянии металла и при

напряжении равном пределу текучести  $\sigma_T$ , а также пороговые значения коэрцитивных сил в образцах при напряжении равном пределу прочности  $\sigma_B$  (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты расчета пороговых значений величины коэрцитивной силы сварного шва и ЗТВ сварных образцов

Состояние образца:	Величина коэрцитивной силы, А/м	
	Сварного шва	ЗТВ <sub>1,2</sub>
в исходном состоянии «0»	472	274
при напряжении равном $\sigma_T$	616	446
при напряжении равном $\sigma_B$	914	770

На основе полученных в результате исследований и расчета значений коэрцитивных сил  $H_c^{zms}$  и  $H_c^{zu}$  сварных соединений образцов были спрогнозированы три зоны эксплуатации сварных

соединений для обследуемого трубопровода: а) надежная, б) контролируемая, в) критическая (табл. 3).

Таблица 3 – Интервалы значений коэрцитивных сил зон эксплуатации

Зона надежности эксплуатации:	Величина коэрцитивной силы, А/м	
	Сварного шва	ЗТВ <sub>1,2</sub>
Надежная	472 - 616	274 - 446
Контролируемая	616 - 765	446 - 608
Критическая	765 - 914	608 - 770

Во время проведения испытаний сварных соединений при мониторинге участка газопровода выполнялось периодическое шурфование в местах

залегания трубопровода. Диагностика проводилась на участках подземной укладки трубопроводов и на участках переходов через реки.

Схема расположения сварных соединений газопровода, подвергнутых испытаниям, представлена на рис. 1.

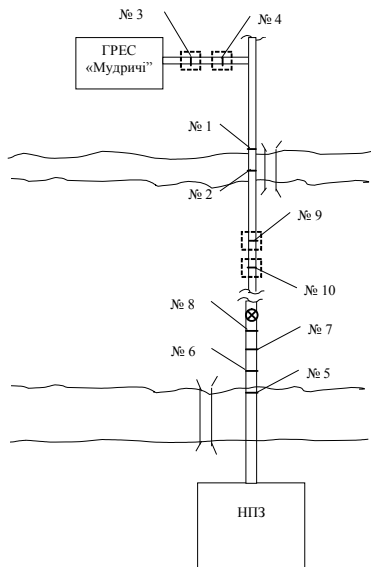


Рис. 1. Схема расположения сварных соединений участка газопровода Борислав – Дрогобыч, подвергнутых мониторингу (пунктиром показаны места шурфования)

Были проведены испытания на участке (№1) воздушного перехода через реку Выжница возле автомобильного моста (кольцевые сварные соединения №1 и №2); на участке возле газораспределительного поста (кольцевые сварные соединения №3 и №4); на участке перед воздушным переходом (№2) через реку Тысменица (кольцевые сварные соединения №5 – №8); на участке шурфования между реками (кольцевые сварные соединения №9 и №10).

При проведении испытаний для оценки состояния сварных соединений трубопровода преобразователи устанавливали на поверхность шва и околшовной зоны и сканировали по кольцу согласно разработанной методике испытаний. Измерения величины коэрцитивной силы проводили в 4 основных точках трубы по окружности шва, начиная с верхней (т.0). Результаты измерений заносились в банк данных специального устройства для регистрации с блоком памяти и специальной фотоприставкой.

Для окончательного анализа состояния сварных соединений трубопровода было проведено на основании расчета величин коэрцитивных сил  $H_c^{3me}$  и  $H_c^{III}$  ранжирование сварных соединений по зонам эксплуатации.

Величины коэрцитивных сил в шве и ЗТВ сварного соединения эксплуатируемого трубопровода анализировались на основе методики [4]. Ранжирование сварных соединений проводилось с использованием данных табл. 3.

Состояние сварных соединений трубопровода в точках ЗТВ или шва кольцевых сварных соединений можно отнести к различным зонам надежности эксплуатации. Результаты оценки сварных соединений представлены в табл. 4.

Установлено, что на участке воздушного перехода через реку кольцевое сварное соединение № 5 находится в критическом состоянии (табл. 5); сварные соединения № 2 и № 8 на участках воздушных переходов через реки были отнесены к зоне надежной эксплуатации. Остальные сварные соединения отнесены к зоне контролируемой эксплуатации (постоянный мониторинг).

Результаты измерений и предварительного расчета величины коэрцитивной силы в различных зонах кольцевых сварных соединений, полученные при описанном мониторинге, позволили дать прогноз о состоянии сварных соединений данного газопровода. Прогноз выполнен на основе анализа кинетики изменения измеряемых при мониторинге текущих значений  $H_c^{3me}$  и  $H_c^{III}$  и величины порогового значения коэрцитивной силы в сварных соединениях.

При этом остаточный ресурс кольцевых сварных соединений определялся как разность между предельным прогнозируемым сроком эксплуатации и установленным сроком эксплуатации сварного соединения трубопровода на момент мониторинга. Результаты прогноза представлены в табл. 4. Видно, что минимальным остаточным ресурсом обладает сварное соединение №5, который составляет 17 мес.

Таким образом, на основе предварительного расчета величины остаточного ресурса, результатов испытаний и по принадлежности к той или иной зоне надежности эксплуатации, была определена продолжительность и рекомендуемые сроки эксплуатации кольцевых сварных соединений участка трубопровода.

Для определения средних изменений в сварных соединениях трубопровода в процессе эксплуатации и таким образом общего уровня накопления повреждений и деформаций, а также оценки общего характера изменения состояния сварных соединений газопровода предлагается проводить статистический сравнительный анализ результатов мониторинга отдельных участков трубопровода [5].

Таблица 4 – Прогнозирование остаточного ресурса сварных соединений трубопровода и ранжирование при эксплуатации

Параметр	Сварное соединение									
	№ 1	№ 2	№ 3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
Прогнозируемый срок эксплуатации, мес.	63	>90	66	75	57	77	>90	>90	71	>90
Остаточный ресурс, мес.	23	>50	26	35	17	37	>30	>50	31	>30
Зоны надежности эксплуатации (надежная/контролируемая/критическая)	контролируемая	надежная	контролируемая	контролируемая	критическая	контролируемая	контролируемая	надежная	контролируемая	контролируемая

Таблица 5 – Результаты предварительного расчета величины коэрцитивной силы сварных соединений трубопровода, подвергнутого мониторингу

Сварное соединение №	Величина коэрцитивной силы, А/м	
	Сварного шва	ЗТВ <sub>1,2</sub>
1	667	591
2	530	281
3	601	577
4	600	538
5	644	626
6	700	407
7	664	281
8	538	301
9	588	556
10	651	434

Статистический анализ результатов мониторинга предлагается проводить путем сравнения характеристик распределений величин коэрцитивных сил  $Hc^{3me}$  и  $Hc^{3u}$  сварных соединений на различных этапах эксплуатации трубопровода, полученных в процессе периодического мониторинга.

Предварительно для обеспечения возможности проведения статистического сравнительного анализа в качестве модели обследуемого трубопровода в начале его эксплуатации необходимо изготовить образцы кольцевых сварных соединений обечаек, изготовленных из той же стали, что и у постоянно обследуемого трубопровода. Также необходимо проводить комплекс испытаний, аналогичный проведенному для описанного участка трубопровода.

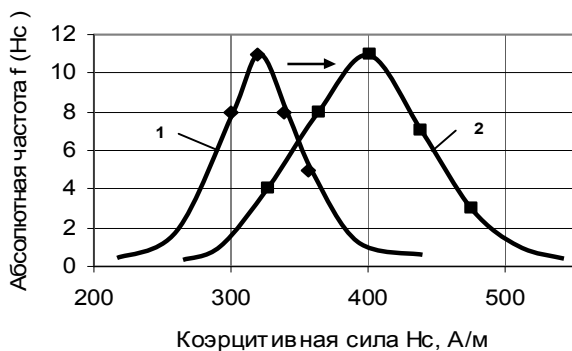
Таким образом, эта методика даст возможность выполнить статистический анализ изменения характеристик распределений величин коэрцитивных сил  $Hc^{3me}$  и  $Hc^{3u}$  на различных временных этапах эксплуатации трубопровода с

достаточной достоверностью для оценки состояния на отсутствие микротрещин в металле сварных соединений.

Определение дисперсии и среднего арифметического значений коэрцитивных сил  $Hc^{3me}$  и  $Hc^{3u}$  необходимо выполнять на основе разработанной методики.

Для анализа состояния трубопровода были также проведены УЗ-контроль, радиографический на отсутствие макродефектов и твердометрия сварных соединений. По результатам радиографического и УЗ-контроля все сварные соединения признаны условно годными. По результатам твердометрии нормативным требованиям (ГОСТ 1050-74) соответствуют сварные соединения №№ 9, 10.

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено влияние срока эксплуатации газопровода на магнитные свойства металла и проверена методика расчета остаточного ресурса сварных соединений участка трубопровода (рис. 2).



1 – нова плетть трубопровода; 2 – експлуатуємуєм трубопровод

Рис. 2. Розподілення значень коєрцитивної сили  $H_c^{св.с.}$  для кільцевих сварних з'єднань участків трубопровода на різних етапах експлуатації

Сравнительный анализ полученных результатов – величин средних значений коєрцитивных сил  $H_c^{св.с.}$  и  $H_c^{III}$  в сварных соединениях обследованного участка трубопровода и исследованных образцов позволяет определять состояние сварных соединений трубопровода и, таким образом, определить появление зон микроповреждений и деформаций материала. Разработанная методика анализа результатов измерений с учетом меры рассеивания значений величин коєрцитивных сил  $H_c^{св.с.}$  и  $H_c^{III}$  (отклонение их от средних значений) в сварных соединениях эксплуатируемого трубопровода позволит на основе графика распределения значения коєрцитивной силы  $H_c^{св.с.}$  (рис. 2) оценить характер изменения

состояния каждого сварного соединения участка трубопровода после длительной эксплуатации. Анализ исследований показал, что полученные результаты испытаний кольцевых сварных соединений участка трубопровода с помощью магнитного коєрцитиметрического метода удовлетворительно коррелируют с результатами других методов неразрушающего контроля и обеспечивают достоверной информацией о состоянии микроструктуры материала сварных соединений трубопровода после длительного срока эксплуатации.

1. Патон Б.Е. *Современные направления повышения прочности и ресурса сварных конструкций* "Автоматическая сварка", № 9-10, 2000. – С. 3-9.
2. Черняев К.В., Васин Е.С. *Обеспечение безопасной эксплуатации и продления срока службы магистральных трубопроводов* "Автоматическая сварка", № 9-10, 2000. – С. 167-170.
3. Дворецкий В.И. *Оценка остаточного ресурса сварных несущих конструкций и продление срока службы* "Автоматическая сварка", №9-10, 2000. – С. 37-41.
4. Лобанов Л.М., Бондаренко А.Ю., Бондаренко Ю.К. *Оценка сварных соединений конструкций магнитным (коєрцитиметрическим) методом для прогнозирования индивидуального остаточного ресурса* "Техническая диагностика и неразрушающий контроль", № 1, 2004. – С. 15-17.
5. Бондаренко Ю.К., Фурман Я.М., Бондаренко А.Ю., Ковальчук О.В. *Проблемы определения ресурса сварных конструкций (Обзор)*. "Автоматическая сварка", № 1, 2005. – С. 14-19.

УДК 669.017.539.6

## КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНЕВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТА ДЕФЕКТІВ ЗРАЗКІВ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

© Вороняк Т.І., Муравський Л.І., 2006

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м.Львів

**Описані схеми експериментальної установки для контролю поверхневих переміщень зразків конструкційних матеріалів методами електронної спекл-інтерферометрії. Наведено приклад обробки та аналізу отриманих експериментальних результатів**

Електронна спекл-інтерферометрія (ЕСІ) є перспективним напрямом прецизійного неруйнівного контролю переміщень та деформацій поверхні, що використовуються при дослідженні механічної стійкості зразків конструкційних матеріалів в статичних та динамічних режимах їх

навантаження [1,2,3]. Одна з основних переваг ЕСІ полягає у можливості досліджувати оптично шорсткі (неполіровані) поверхні та здійснювати контроль їх деформованого стану у масштабі часу, що близький до реального. Крім того, контроль методами ЕСІ поверхневих деформацій зразків