

*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Українське товариство неруйнівного контролю і технічної діагностики
Міжнародна Асоціація «Зварювання»*



II науково-практична конференція НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ТА МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

**Збірка тез доповідей
Програма конференції**

6 – 10 вересня 2021 року
м. Одеса, готель «Аркадія»

*Генеральний спонсор
ПрАТ «УкрНДІНК»*



*Офіційний спонсор
ТОВ «НВФ «Діагностичні прилади»*



Спонсор



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

II науково-практична конференція

**НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ
ТА МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ**

Збірка тез доповідей
Програма конференції

6–10 вересня 2021 р.
м. Одеса, готель «Аркадія»

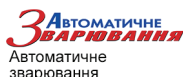
Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану: Тези допов. наук.-практ. конф. під ред. Ю.М. Посипайка / Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2021. — 72 с.

В збірці представлено 43 тези доповідей II науково-практичної конференції «Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану», в яких відображені останні досягнення та практичні результати в галузі неруйнівного контролю та технічної діагностики.

Організатори конференції висловлюють подяку організаціям та компаніям за надану фінансову допомогу в проведенні конференції:

- Українському науково-дослідному інституту неруйнівного контролю;
- Науково-виробничій фірмі «Діагностичні прилади»;
- Багатопрофільній компанії «Хімлаборреактив».

Інформаційна підтримка конференції



Видавничий проект *О.Т. Зельніченко*

Комп'ютерна верстка *Т.Ю. Снегірєва*

Свідоцтво серія ДК, № 3497 від 4 червня 2009 р.

Тези публікуються в авторській редакції.

© Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2021

© Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, 2021

ЗМІСТ

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ	5
ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ	13
<i>Бондаренко О.Г., Глуховський В.Ю.</i> Дистанційне діагностування технічного стану промислових димових труб пасивним тепловізійним методом	13
<i>Дівеєв Б.М., Черчик Г.Т., Юзефович Р.М.</i> Дослідження демпфування у шаруватих структурах залежно від геометричних та механічних властивостей пакета за вібраційного навантаження	14
<i>Журавльов С.В., Ободовський Б.М., Яременко М.А., Недосека А.Я., Недосека С.А., Овсієнко М.А.</i> Впровадження технології АЕ моніторингу на ОПЗ	14
<i>Козин А.Н., Павлій А.В.</i> OMNISCAN X3 от OLYMPUS завоевывает доверие у потребителей	16
<i>Ластівка І.О., Демидко В.Г.</i> Оцінка компетентності персоналу з неруйнівного контролю	17
<i>Луценко Т.М.</i> Перспективи і розвиток компаній Асоціації ОКО в нових умовах сучасного світу	18
<i>Махненко О.В., Костеневич О.С., Черкашин М.В., Бажуков А.В., Палій А.Н., Разиграєв М.П.</i> Нові аспекти пошкоджуваності металу вузла зварного з'єднання колектора з патрубком Ду1200 парогенератора ПГВ-1000	19
<i>Махненко О.О., Махненко О.В.</i> Розрахункова оцінка несучої здатності головних прогонових балок мосту ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві за результатами неруйнівного контролю	21
<i>Мищенко В.П., Галаненко Д.В., Андрійченко О.О.</i> Перша вітчизняна система швидкісного контролю залізничної колії OKOSCAN 73HS	23
<i>Мужиченко О.Ф., Махненко О.В.</i> Визначення залишкових напружень в вузлі приварювання колектору до патрубка Ду1200 парогенераторів ПГВ-1000 після локальної термічної обробки	24
<i>Несін В.В.</i> Застосування капілярної перевірки якості гравіювання на матеріалах з особливими органолептичними властивостями	25
<i>Опанасенко А.В., Верютін М.В., Мищенко В.П.</i> Системи вихрострумowego контролю авіаційних коліс серії «SMARTSCAN»	26
<i>Павлій А.В., Казенов Н.П., Кухта И.Я.</i> Радиационные методы неразрушающего контроля: современное состояние и перспективы	26
<i>Рибачук В.Г., Учанін В.М., Соломаха Р.М., Безлюдько Г.Я.</i> Контроль шаруватих феромагнітних матеріалів коерцитиметрами з приставними давачами	27
<i>Троїцький В.А., Бондаренко О.Г., Посипайко Ю.М.</i> Основні напрямки робіт ІЕЗ ім. Є.О. Патона з розвитку технологій неруйнівного контролю	29
<i>Троїцький В.О., Литвиненко В.А.</i> Рівні якості зварних з'єднань для системи автоматизованого візуального контролю	30
<i>Троїцький В.О., Посипайко Ю.М., Шекеро А.Л.</i> Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики	31
<i>Трохим Г.Р., Юзефович Р.М., Яворський І.М.</i> Дослідження даних випробувань підшипників кочення з сайту центру підшипникових даних Case Western Reserve University	33
<i>Учанін В.М.</i> Нотатки про прийдешню революцію у неруйнівному контролі	35
<i>Учанін В.М., Алещенко О.Г., Іващенко К.А., Дереча В.Я.</i> Вихрострумний автогенераторний дефектоскоп з автоматичним налаштуванням на заданий рівень чутливості	37
<i>Учанін В.М., Мінаков С.М., Мінаков А.С., Іващенко К.А.</i> Магнітопружні давачі для безконтактного визначення механічних напружень і крутного моменту обертальних вузлів	39
<i>Швець В.П., Булах П.О., Масло О.М.</i> Моніторинг поточного стану матеріалу елементів конструкцій методом LM-твердості	41

Щупак С.О. Стандартизація і сертифікація в сфері неруйнівного контролю в Україні	42
Юзефович Р.М., Стецько І.Г., Яворський І.М., Личак О.В. Система відбору вібраційних сигналів для діагностики обертових механізмів	43
Юзефович Р.М., Яворський І.М., Семенов П.О., Личак О.В., Стецько І.Г. Підходи до побудови систем вібродіагностики	44
СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ	45
Бабак В.П., Воробйов Л.Й., Сергієнко Р.В. Моделювання теплових процесів при визначенні калорійності та якості палива	45
Богачев І.В. Визначення амплітудно-фазових характеристик сигналів в системах ультразвукового контролю елементів будівельних машин та металевих конструкцій з використанням малоапертурних магнітострикційних сенсорів	46
Буйнова Є.О., Гохфельд В.Л., Юрженко М.В. Квазіруйнівний метод випробувань зварних з'єднань поліетиленових труб	47
Гориченко С.Ф., Шолоник В.Е., Анисович А.Г., Баев А.Р., Гаркун А.С., Крень А.П., Хейфец М.Л. Мониторинг технического состояния и анализ причин разрушения элементов газораспределительной системы	48
Гребенніков В.М., Коцар Ю.І., Манорик П.А., Посипайко Ю.М., Шульженко О.В. Підвищення ефективності контролю герметичності рознімних з'єднань способом накопичення при атмосферному тиску шляхом використання полімерних термоусаджуваних трубок та індикаторів на робочі речовини	49
Демченко С.В., Сучков Г.М. Возможности портативного ЭМАП для контроля ферромагнитных изделий со сверхбольшими зазорами	51
Дмитрик В.В., Касьяненко І.В. Деформація металу зварних з'єднань паропроводів	53
Дядін В.П., Давидов Є.О., Дмитрієнко Р.І. Особливості застосування неруйнівних методів контролю щодо оцінки технічного стану металевих конструкцій головних балок мосту ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві	54
Каток О.А., Кравчук Р.В., Середа А.В. Неруйнівний контроль поточного стану конструкційних матеріалів технічних виробів за результатами індентування	56
Куліш В.А., Крилов Е.С. Розробка єдиної галузевої бази даних технічного стану вугільних шахтних копрів	57
Мешков С.Н., Мякий А.В., Орел Р.П., Хорошайло Ю.Е. Прогнозирование остаточного ресурса эксплуатации технических объектов по результатам теплового мониторинга	59
Стороженко В.А., Мешков С.Н., Орел Р.П. Применение теплового метода для контроля изделий авиационной техники	61
Троїцький В.А., Горбик В.М., Бородай О.С. Сравнительный анализ рабочих параметров намагничивающих устройств на постоянных магнитах при магнитопорошковом контроле	63
Троїцький В.А., Карманов М.Н., Шалаев В.А. Высокоточный рентгентелевизионный детектор	64
Троїцький В.О., Михайлов С.Р., Ковальов Д.О. Високочутлива рентгенотелевізійна система з високою роздільною здатністю	65
Усов В.В., Рабкіна М.Д., Штофель О.О., Шкатуляк Н.М., Рибак Н.І. Фрактальна параметризація, як допоміжний засіб при моніторингу технічного стану зварних конструкцій	67
Козарчук Д.В. Комплексні рішення для галузевих лабораторій від компанії ХІМЛАБОРРЕАКТИВ	68
Лобанов Л.М., Шуткевич О.П., Савицький В.В., Киянець І.В. Ширографічна система для неруйнівного контролю якості елементів стільникових панелей з використанням вакуумного навантаження	69
Іменний покажчик	71

ПРОГРАМА
II Науково-практична конференція
«НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ТА МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ»
6–10 вересня 2021 р.
м. Одеса, готель «Аркадія»

6 вересня, понеділок

14:00–17:00

Заїзд, реєстрація і розміщення учасників конференції

19:00–21:00

Вечірка-фуршет з нагоди відкриття конференції

7 вересня, вівторок

09:00

Відкриття виставки

09:50

Відкриття конференції

Вітальне слово директора ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України,

академіка НАН України І.В. Кривцуна

Вітальні виступи спонсорів та гостей конференції

Інформаційні повідомлення Оргкомітету

10:20–11:20

Пленарне засідання

11:20–11:50

Кава-брейк

11:50–13:00

Пленарне засідання

13:00–14:30

Обідня перерва

14:30–15:30

Пленарне засідання

15:30–16:00

Кава-брейк

15:50–17:30

Пленарне засідання

8 вересня, середа

10:00–11:20

Пленарне засідання

11:20–11:50

Кава-брейк

11:50–13:00

Пленарне засідання

13:00–14:30

Обідня перерва

14:30–15:30

Пленарне засідання

15:30–16:00

Кава-брейк

16:00–17:30

Пленарне засідання

19:00–21:00

Звана вечірка

9 вересня, четвер

10:00–13:00

Відкрита дискусія з питань розвитку технологій неруйнівного контролю, стандартизації, сертифікації та акредитації в галузі неруйнівного контролю в Україні

13:00–14:30

Обідня перерва

14:30–17:30

Стендові доповіді

10 вересня, п'ятниця

10:00–12:00

Стендові доповіді

12:00–13:00

Заклучне засідання

Закриття конференції

Регламентована тривалість доповіді — 15 хвилин.

Вхід на виставку вільний.

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Вітаємо Вас в Одесі на конференції «Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану».

Висловлюємо Вам слова поваги та вдячності за те, що в такий непростий для всього світу час Ви знайшли можливість та внутрішні сили брати участь в роботі конференції та виставки приладів, обладнання та матеріалів для неруйнівного контролю.

В готелі «Аркадія» та в його конференц-залах створені всі умови для комфорту та безпеки учасників конференції. В той же час, ми просимо Вас завжди пам'ятати про захист лиця медичною маскою, дотримання безпечної відстані при спілкуванні та дезінфекцію рук.

Сподіваємось, що конференція, виставка та час, проведений в Одесі, будуть корисні для Вас. І ми ще не раз зустрінемося з Вами в цьому чудовому місті!

З повагою,
Оргкомітет

УЧАСНИКИ ВИСТАВКИ ПРИЛАДІВ, ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УкрНДІНК, ПрАТ

вул. Набережно-Лугова, 8, м. Київ-71, 04071

E-mail: ukrniink@ndn.com.ua, info@autondt.com, www.ndt.com.ua, www.autondt.com

«Ультракон-сервіс», ПрАТ

вул. Набережно-Лугова, 8, м. Київ-71, 04071

E-mail: office@ndt.com.ua, www.ultracon-servise.com.ua

«Промприлад», ПрАТ

вул. Набережно-Лугова, 8, м. Київ-71, 04071, E-mail: office@ndt.com.ua, www.promprilad.com.ua

ТОВ «Діагностичні прилади»

вул. Патріотів, 103, м. Київ-61, 03061, E-mail: support@ndt-ua.com, www.ndt-ua.com

ТОВ «ХІМЛАБОРРЕАКТИВ»

вул. Січових Стрільців, 8, м. Бровари, Київської обл., 07400, E-mail: sales@hrl.ua, www.hlr.ua

ТВП «ОНІКО»

вул. Волоська, 55/57, м. Київ, 04070, E-mail: ndt@oniko.ua, www.oniko.ua

ТОВ «Ультракон»

вул. Качалова, 5, м. Київ-126, 03126, E-mail: npf_ultracon@ukr.net, www.ultracon.com.ua

ТОВ «Еталон-Прилад»

вул. Клочківська, 295, м. Харків, 61045, E-mail: info@etalonpribor.com.ua, www.etalonpribor.com.ua

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Зельніченко О.Т., к.ф.-м.н., (38044) 200-82-77, E-mail: journal@paton.kiev.ua

Посипайко Ю.М., (38044) 205-22-49, E-mail: posypaiko.yurii@gmail.com

Романова І.Ю., к.т.н., (38044) 205-22-26, E-mail: romanova@paton.kiev.ua

Щупак С.О., (38044) 205-22-49, E-mail: tschara@ukr.net

АДРЕСА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ

Міжнародна Асоціація «Зварювання»
вул. Казимира Малевича 11, м. Київ, 03150
<http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2021>

7 вересня, вівторок

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

Головуючі: д.т.н. Учанін В.М., Посипайко Ю.М.

Нотатки про прийдешню революцію у неруйнівному контролі

Учанін В.М.

*Українське Товариство технічної діагностики та неруйнівного контролю, Київ
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів*

Підходи до побудови систем вібродіагностики

Юзефович Р.М.^{1,2}, Яворський І.М.^{1,3}, Семенов П.О.⁴, Личак О.В.¹, Стецько І.Г.

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

²Національний університет «Львівська Політехніка», Львів

³Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

⁴Одеський національний морський університет, Одеса

Впровадження технології АЕ моніторингу на ОПЗ

Журавльов С.В.¹, Ободовський Б.М.¹, Яременко М.А.², Недосека А.Я.², Недосека С.А.², Овсієнко М.А.²

¹АТ «Одеський припортовий завод», Южне

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Перспективи і розвиток компаній Асоціації «ОКО» в нових умовах сучасного світу

Луценко Т.М.

ПрАТ «УкрНДІНК», Київ

Науково-виробнича фірма «Діагностичні прилади» — 25 років пошуку та досвіду

Павлій О.В.

ТОВ «НВФ «Діагностичні прилади», Київ

Комплексні рішення для галузевих лабораторій від компанії «Хімлаборреактив»

Козарчук Д.В.

ТОВ «Хімлаборреактив», Бровари

Вихрострумний автогенераторний дефектоскоп з автоматичним налаштуванням на заданий рівень чутливості

Учанін В.М.¹, Алещенко О.Г.¹, Іващенко К.А.¹, Дереча В.Я.²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

²ДП «АНТОНОВ», Київ

Система відбору вібраційних сигналів для діагностики обертових механізмів

Юзефович Р.М.^{1,2}, Стецько І.Г.¹, Яворський І.М.^{1,3}, Личак О.В.¹

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

²Національний університет «Львівська Політехніка», Львів

³Технологічно-природничий університет, Інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

Перша вітчизняна система швидкісного контролю залізничної колії OKOSCAN 73HS

Міщенко В.П., Галаненко Д.В., Андрійченко О.О.

ПрАТ «УкрНДІНК», Київ

Системи вихрострумного контролю авіаційних коліс серії «SMARTSCAN»

Опанасенко А.В., Верютін М.В., Міщенко В.П.

ПрАТ «УкрНДІНК», Київ

Радіаційні методи неруйнівного контролю: сучасний стан та перспективи розвитку

Павлій О.В., Казьонов М.П., Кухта І.Я.

ТОВ «НВФ «Діагностичні прилади», Київ

OMNISCAN X3 от OLYMPUS завоює довіру у потребителів

Козін О.М., Павлій О.В.

ТОВ «НВФ «Діагностичні прилади», Київ

Нові розробки НВФ «Ультракон»

Павлій І.В.

ТОВ «НВФ «Ультракон», Київ

Сучасні прилади неруйнівного контролю фірми «Starmans electronics»

Боклаг М.В., Корнієнко О.С.

ТОВ «Еталон-Прилад», Харків

8 вересня, середа

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

Головуючі: д.т.н. Юзефович Р.М., Посипайко Ю.М.

**Дослідження даних випробувань підшипників кочення з сайту центру підшипникових даних
CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY**

Трохим Г.Р.¹, Юзефович Р.М.^{1,2}, Яворський І.М.^{1,3}

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

²Національний університет «Львівська Політехніка», Львів

³Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

**Дослідження демпфування у шаруватих структурах залежно від геометричних
та механічних властивостей пакета за вібраційного навантаження**

Дівеєв Б.М.¹, Черчик Г.Т.², Юзефович Р.М.^{1,2}

¹Національний університет «Львівська Політехніка», Львів

²Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

**Розрахункова оцінка несучої здатності головних прогонових балок мосту ім. Є.О. Патона
через р. Дніпро у м. Києві за результатами неруйнівного контролю**

Махненко О.О., Махненко О.В.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

**Нові аспекти пошкоджуваності металу вузла зварного з'єднання колектора з патрубком Ду1200
парогенератора ПГВ-1000**

Махненко О.В.¹, Костеневич О.С.¹, Черкашин М.В.², Бажуков А.В.³, Палій А.Н.³, Разиграєв М.П.⁴

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²ТОВ «УКРЦНІТМАШ», Київ

³ВП «Южно-Українська АЕС»

⁴АТ «НВО «ЦНДІТМАШ», Москва

**Визначення залишкових напружень в вузлі приварювання колектору до патрубка Ду1200
парогенераторів ПГВ-1000 після локальної термічної обробки**

Мужиченко О.Ф., Махненко О.В.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Магнітопружні давачі для безконтактного визначення механічних напружень і крутного моменту обертальних вузлів

Учанін В.М.¹, Мінаков С.М.², Мінаков А.С.², Іващенко К.А.¹

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів

²Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

Контроль шаруватих феромагнітних матеріалів коерцитиметрами з приставними давачами

Рибачук В.Г.¹, Учанін В.М.¹, Соломаха Р.М.², Безлюдько Г.Я.²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

²НВФ «Спеціальні наукові розробки», Харків

Фрактальна параметризація, як допоміжний засіб при моніторингу технічного стану зварних конструкцій

Усов В.В.¹, Рабкіна М.Д.², Штофель О.О.³, Шкатуляк Н.М.¹, Рибак Н.І.¹

¹Одеський національний університет ім. Ушинського, Одеса

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

³Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

Моніторинг поточного стану матеріалу елементів конструкцій методом ЛМ-твердості

Швець В.П., Булах П.О., Масло О.М.

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ

Застосування капілярної перевірки якості гравіювання на матеріалах з особливими органолептичними властивостями

Несін В.В.

Український НДІ спеціальної техніки та судових експертиз СБУ, Київ

Основні напрямки робіт в ІЕЗ ім. Є.О. Патона з розвитку технологій неруйнівного контролю

Троїцький В.А., Посипайко Ю.М.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Дистанційне діагностування технічного стану промислових димових труб пасивним тепловізійним методом

Бондаренко О.Г., Глуховський В.Ю.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, НАН України, Київ

Сравнительный анализ рабочих параметров намагничивающих устройств на постоянных магнитах при магнитопорошковом контроле

Троицкий В.А., Горбик В.М., Бородай О.С.

Інститут електросварки ім. Е. О. Патона НАН України, Київ

Рівні якості зварних з'єднань для системи автоматизованого візуального контролю

Троїцький В.О., Литвиненко В.А.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, НАН України, Київ

Ширографічна система для неруйнівного контролю якості елементів стільникових панелей з використанням вакуумного навантаження

Лобанов Л.М., Шуткевич О.П., Савицький В.В., Киянець І.В.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Стандартизація і сертифікація в сфері неруйнівного контролю в Україні

Щупак С.О.

УТ НКТД, Технічний комітет з стандартизації № 78

«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», Київ

Оцінка компетентності персоналу з неруйнівного контролю

Ластівка І.О., Демидко В.Г.

Національний авіаційний університет, Київ

Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики

Троїцький В.О., Посипайко Ю.М., Шекеро А.Л.

УТ НКТД, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Київ

9 вересня, четвер

**Відкрита дискусія з питань розвитку технологій неруйнівного контролю,
стандартизації, сертифікації та акредитації в галузі неруйнівного контролю
в Україні (10:00–13:00)**

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

Моделювання теплових процесів при визначенні калорійності та якості палива

Бабак В.П., Воробйов Л.Й., Сергієнко Р.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Визначення амплітудно-фазових характеристик сигналів в системах ультразвукового контролю елементів будівельних машин та металевих конструкцій з використанням малоапертурних магнітострикційних сенсорів

Богачев І.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Квазіруйнівний метод випробувань зварних з'єднань поліетиленових труб

Буйнова Є.О., Гохфельд В.Л., Юрженко М.В.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

Мониторинг технического состояния и анализ причин разрушения элементов газораспределительной системы

Гориченко С.Ф.¹, Шолоник В.Е.¹, Анисович А.Г.², Баев А.Р.³, Гаркун А.С.³, Крень А.П.³, Хейфец М.Л.³

¹ПРУП «Мингаз» Министерства энергетики Беларуси, Минск

²Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

³Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск

Возможности портативного ЭМАП для контроля ферромагнитных изделий со сверхбольшими зазорами

Демченко С.В.¹, Сучков Г.М.²

¹ООО НПП УКРИНТЕХ, Харьков

²Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Деформація металу зварних з'єднань паропроводів

Дмитрик В.В., Касьяненко І.В.

НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків

Особливості застосування неруйнівних методів контролю щодо оцінки технічного стану металевих конструкцій головних балок мосту ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві

Дядін В.П., Давидов Є.О., Дмитрієнко Р.І.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

Неруйнівний контроль поточного стану конструкційних матеріалів технічних виробів за результатами ідентування

Каток О.А., Кравчук Р.В., Серєда А.В.

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, Київ

10 вересня, п'ятниця

СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

Розробка єдиної галузевої бази даних технічного стану вугільних шахтних копрів

Куліш В.А., Крилов Е.С.

ДП «Інститут «УкрНДІпроект», Київ

Прогнозирование остаточного ресурса эксплуатации технических объектов по результатам теплового мониторинга

Мешков С.Н., Мягкий А.В., Орел Р.П., Хорошайло Ю.Е.

НТЦ «Термоконтроль» Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков

Применение теплового метода для контроля изделий авиационной техники

Стороженко В.А., Мешков С.Н., Орел Р.П.

НТЦ «Термоконтроль» Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков

Высокоточный рентгентелевизионный детектор

Троицкий В.А., Карманов М.Н., Шалаев В.А.

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

Високочутлива рентгенотелевізійна система з високою роздільною здатністю

Троїцький В.О.¹, Михайлов С.Р.², Ковальов Д.О.²

¹*ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ*

Підвищення ефективності контролю герметичності різних з'єднань способом накопичення при атмосферному тиску шляхом використання полімерних термоусаджуваних трубок та індикаторів на робочі речовини

Гребенніков В.М.¹, Коцар Ю.І.², Манорик П.А.¹, Посипайко Ю.М.³, Шульженко О.В.¹

¹*Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, Київ*

²*ДП «Південний машинобудівний завод», Дніпро*

³*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

Заключне засідання. Закриття конференції (12:00–13:00)

ДИСТАНЦІЙНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВИХ ДИМОВИХ ТРУБ ПАСИВНИМ ТЕПЛОВІЗІЙНОГО МЕТОДОМ

О.Г. Бондаренко, В.Ю. Глуховський

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Димові труби — це конструктивно складні та важливі елементи основних споруд теплоелектростанцій (ТЕЦ, ТЕС), а також нафтохімічних, металургійних, газопереробних та інших промислових об'єктів. Основною функцією димових труб є відведення димових газів та їх розсіювання в атмосфері. Тому, вихід з ладу таких технічних споруд може призводити до відключення енергетичних потужностей (електричної та теплової енергії) та зупинці технологічних виробництв, а також до суттєвих фінансових втрат. При цьому, за останні роки на більшості об'єктів енергетики України, які були побудовані ще 40–50 років тому, не проводились ремонтні роботи та не замінювались на нові основні виробничі фонди. Будівлі та споруди близькі до межі вичерпання своїх експлуатаційних ресурсів, а високий рівень фізичного спрацювання підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є своєчасне дистанційне визначення технічного стану промислових димових труб, без виведення їх з експлуатації із застосуванням дистанційного пасивного тепловізійного діагностування, що дозволяє, визначаючи ступінь дефектності стовбуру труби, оцінювати її ресурсний потенціал.

З цією метою, фахівцями ІЕЗ ім. Є.О. Патона була розроблена лазерно-термографічна система, до складу якої входить тепловізійно-вимірювальний прилад та персональний комп'ютер з відповідним розробленим програмним забезпеченням, що дозволяє проводити обробку отриманих від тепловізійно-вимірювального приладу сигналів, визначати пороговий рівень дефектів, розраховувати їх геометричні параметри та визначати їх основні типи.

Ця система була попередньо апробована в експериментальних умовах на зразках зі штучно закладеними дефектами визначеної форми та розмірів, в результаті чого було визначено її придатність до проведення робіт з оцінки якості промислових об'єктів пасивним тепловізійним методом, а також визначено рівень похибок вимірювання в залежності від дистанції термографування.

Для реалізації запропонованого підходу, щодо оцінки технічного стану промислової димової труби в реальних умовах було обрано промислому залізобетонну димову трубу, висотою 120 метрів та діаметром гирла 4,8 м для котлоагрегатів ТВ-100 № 1–3, котельні «Микільська Борщагівка».

Процедура пасивного тепловізійного діагностування димової труби складалась з наступних етапів:

- проведення термографування стовбуру димової труби з чотирьох рівновіддалених позицій з відповідним визначенням дистанції контролю та куту візування за допомогою тепловізійно-вимірювального приладу;
- комп'ютерна обробка множини інформативних ознак несучільностей стовбуру труби, що надійшли в від тепловізійно-вимірювального приладу. В свою чергу, комп'ютерна обробка множини інформативних ознак несучільностей складалась з таких етапів:
- виділення множини аномалій температурного поля в об'ємі одного кільця димової труби з наступним перетворенням у відповідні гістограми амплітудного розподілення температурного поля над несучільностями;
- визначення дефектів в обраній області димової труби за правилом порогової ідентифікації;
- визначення геометричних розмірів виявлених дефектів;
- визначення типу дефекту в залежності від значення температурного максимуму над ним.

В результаті проведеної процедури пасивного тепловізійного діагностування димової труби було отримано інформацію про внутрішній стан дослідженого сегменту її стовбура, що є достатнім підґрунтям для подальшої оцінки технічного стану всього її стовбуру.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕМПФУВАННЯ У ШАРУВАТИХ СТРУКТУРАХ ЗАЛЕЖНО ВІД ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАКЕТА ЗА ВІБРАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Б.М. Дівесв¹, Г.Т. Черчик², Р.М. Юзефович^{1,2}

¹Національний університет «Львівська Політехніка», Львів

²Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
відділ методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів Львів

Шаруваті композитні елементи широко застосовують у сучасних конструкціях. Для визначення пружних, вібраційних, звукозахисних та міцнісних властивостей таких конструкцій необхідно встановити їхні механічні характеристики, а саме: динамічну жорсткість, демпфування, напружений стан за різних умов навантаження і закріплення. Важливими для шаруватих композитних елементів є їхні демпфувальні властивості, які відіграють значну роль у задачах вібро- та звукозахисту під час проектування як аерокосмічних конструкцій, так і у машино-, приладобудуванні, у будівництві. У цьому плані важливими є побудова уточненої теоретичної моделі та вибір таких схем числових та експериментальних досліджень, які дадуть змогу однозначно визначити ці характеристики.

Дослідження демпфування у шаруватих структурах проводили з допомогою електродинамічного вібратора та з допомогою електромеханічного вібратора. Використовували тришарову (сандвіч) симетричну балку з м'якими демпфувальними лицевими шарами різної товщини. Пластинчасті зразки вирізали із листової сталі (Ст. 3) вздовж вальцювання (розміри 280×40 мм), а гумово-бітумні шари приклеєні (розміри 240×40 мм). Пакет з шаруватими структурами закріплювали на столі вібратора симетрично відносно його вертикальної осі за допомогою болта і шайб. На кінцях зразка встановлювали інерційні вантажі (маса вантажу разом з модульовальною діаграмою, болтом і гайкою становила 33 г).

Жорсткість і коефіцієнт демпфування сталевих пластинчастих зразків і зразків з гумово-бітумним покриттям досліджували фазовим методом [1] за кінематичного збудження поперечних коливань балкового зразка. Метод ґрунтується на вимірюванні амплітуд — відповідно вільного і защемленого кінців консольної балки, а також кута зсуву фаз між їх переміщеннями [2].

Досліджувані шаруваті пакети випробовували в околі основного резонансу, коли зсув фаз між переміщеннями становив 90°. Амплітуду вільного кінця пакету вимірювали і контролювали за допомогою модульовальної діафрагми та координатного фотоприймача і розраховували за відповідною формулою [2]. Прискорення вимірювали акселерометром ABC 017-10 або акселерометром фірми Bruel & Kjaer конструкції Delta Tron, встановленим замість інерційного вантажу [3].

Дослідження показали, що застосування гумово-бітумних покриттів в шаруватих пакетах з сталевими пластинами підвищує демпфування приблизно у 2 рази і демпфування суттєво зростає зі зміною товщини покриття.

1. Когут І.С. (2011) *Міцність і демпфування стрижневих конструкцій із армованих полімерів*. Львів, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ.
2. Дівесв Б.М., Когут І.С., Бутитер І.Б., Черчик Г.Т. (2012) Визначення модулів пружності шаруватих балок на основі експериментальних досліджень та розрахункових моделей. *Фіз.-хім. механіка матеріалів*, 48(3), 24–30.
3. Дівесв Б.М., Когут І.С., Бутитер І.Б., Черчик Г.Т. (2016) Визначення розсіювання енергії в шаруватих балках за вібраційного навантаження. *Там саме*, 52(6), 41–48.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АЕ МОНІТОРИНГУ НА ОПЗ

**С.В. Журавльов¹, Б.М. Ободовський¹, М.А. Яременко²,
А.Я. Недосєска², С.А. Недосєска², М.А. Овсієнко²**

¹АТ «Одеський припортовий завод», м. Южне

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Для визначення (моніторингу) структурної цілісності матеріалу різних технічних конструкцій і споруд ОПЗ активно використовуються системи інтегрального моніторингу технічного стану небезпечних виробничих об'єктів з застосуванням методу акустичної емісії (АЕ). Це дозволяє оперативно реагувати на зміни поточ-

ного стану обладнання — виявляти зародження і розвиток на ранніх стадіях дефектів, що можуть привести металоконструкцію до руйнування або роботи в нештатному режимі, своєчасно приймати рішення щодо режимів експлуатації, а також оптимізувати технічне обслуговування і проводити ремонт обладнання за його фактичним станом.

Такі системи періодичного контролю і моніторингу, а також адаптовані під конкретні завдання методики і алгоритми прийняття рішення активно застосовуються в цехах виробництва аміаку, його перевантаження (зберігання) та інших ділянках.

Наведені результати застосування методу АЕ на прикладі моніторингу і контролю сховищ аміаку ST-1... ST-4 у цеху перевантаження аміаку, окремих ліній та агрегатів у цеху виробництва аміаку, а також об'єктів станції розподілу повітря цеху водообробки.

Показано, що тривалий час моніторингу сховищ рідкого аміаку, значна кількість накопиченої інформації дозволяють детально проаналізувати не тільки стан матеріалу сховища (сталь ASTM-A537.S1; A537.A), технологічні особливості його роботи, але й якісно порівняти, наприклад, стан теплоізоляційного покриття. Після визначення кластерів АЕ сигналів, виконання додаткових термографічних досліджень і аналізу їх результатів встановлена відповідність координат кластерів АЕ і ділянок стінок сховищ з температурою, яка відрізняється від середніх значень, що взята з усієї площі поверхні обичайки сховищ.

Аналіз результатів термографічного контролю та АЕ моніторингу дозволив зробити висновок щодо наявних проблем з температурним станом та ізоляцією корпусу аміакосховища ST-4.

Руйнування теплоізоляції може спричинити появу або прискоренню корозійних процесів на зовнішній поверхні резервуару, локальному зменшенню залишкової товщини стінки, збільшенню АЕ активності в матеріалі конструкції.

Таким чином, АЕ моніторинг може слугувати додатковим фактором при якісній оцінці стану теплоізоляційного покриття.

Наведено стислу характеристику об'єктів АЕ моніторингу заводу з зазначенням місць встановлення датчиків АЕ та конфігурації локаційних антен. При встановленні датчиків АЕ в місцях з підвищеною температурою використовуються хвилеводи. Їх геометричні розміри спеціально розраховуються для конкретних виробів і матеріалів з урахуванням температурного режиму роботи виробу, а також частотного діапазону, в якому можуть розповсюджуватися сигнали АЕ. Показано зовнішній вигляд хвилеводу та установочної роботи з датчиками АЕ на об'єктах.

Наведені результати АЕ моніторингу об'єктів цеху виробництва аміаку за поточний рік. Виявлені місця підвищеної акустичної активності рекомендовані для проведення додаткового контролю під час проведення планових ремонтних робіт.

Останнім часом активно проводяться роботи та відпрацьовуються алгоритми для застосування АЕ контролю і моніторингу на об'єктах з обмеженим доступом до їх поверхні, коли датчики АЕ можливо встановлювати переважно на виходах трубопроводів. Проведено АЕ контроль трьох таких посудин, що працюють під тиском, станції розподілу повітря та проаналізовано його результати.

За результатами проведення АЕ контролю і моніторингу обладнання ОПЗ можна зробити наступні висновки:

- АЕ моніторинг дозволяє оперативно отримувати інформацію щодо стану контрольованих об'єктів, опрацювати її та встановити режими їх подальшої експлуатації.
- Скорочуються терміни з визначення місць для додаткового контролю в разі необхідності, зменшується обсяг додаткових робіт з підготовки та проведення робіт з НК. Відповідальні особи можуть планувати заходи з забезпечення подальшої експлуатації об'єктів згідно технологічних умов їх експлуатації.
- Постійне відслідковування та накопичення АЕ інформації з об'єктів моніторингу дозволить поступово перейти до зупинів та ремонтів обладнання за його фактичним станом.
- Проведення моніторингу дозволяє більш ретельно та обґрунтовано планувати подальші роботи під час планових та вимушених зупинок, оптимізувати роботу відповідних служб заводу та окремих лабораторій.
- АЕ моніторинг обладнання цехів різного призначення заводу дає змогу отримувати оперативну інформацію про їх загальний стан та взаємопов'язану комплексну роботу цілого підприємства.

OMNISCAN X3 ОТ OLYMPUS ЗАВОЕВЫВАЕТ ДОВЕРИЕ У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

А.Н. Козин, А.В. Павлий

ООО «НПФ Диагностические приборы», Киев

Весной 2020 лидер УЗК с использованием фазированных решеток Olympus выпустил OmniScan X3 — полностью усовершенствованный современный дефектоскоп на фазированных решетках (ФР). Мощные инструменты, такие как метод общей фокусировки (TFM) и улучшенные средства визуализации, позволяют с уверенностью выполнить контроль.

Все это позволяет завоевывать все новые рынки, в том числе и в Украине.

Инновационный TFM:

- Высокое разрешение изображений позволяет обнаружить мельчайшие дефекты.
- Выявление высокотемпературного водородного растрескивания (НТНА) на ранних стадиях, когда это действительно важно.
- Карта акустического воздействия (AIM) позволяет визуализировать чувствительность TFM и соответственно настраивать ее.
- До 4-х режимов TFM упрощает измерение и оценку дефектов.
- Комбинация таких характеристик OmniScan™ X3, как: огибающая TFM (метод общей фокусировки) в режиме реального времени, разрешающая способность сетки до 1024×1024 и яркий цветной дисплей — обеспечивают непревзойденное качество TFM-изображений. Благодаря высокому разрешению обеспечивается четкая визуализация дефектов.

Улучшенная технология фазированных решеток:

- В 3 раза быстрее дефектоскопа OmniScan MX2 (макс. частота повторения зондирующего импульса).
- Одно меню TOFD для ускоренной работы.
- Улучшенная и быстрая калибровка ФР.
- Диапазон высоких амплитуд 800 % снижает необходимость повторного сканирования.

Встроенная поддержка преобразователей DualLinearArray™ и DualMatrixArray™ ускоряет процесс настройки.

Главный инструмент парка оборудования:

Дефектоскоп OmniScan™ X3 имеет все необходимые инструменты для эффективного выполнения работы. Широкий спектр применения включает: диагностику сварных швов, трубопроводов, труб, коррозионно-стойких сплавов, коррозионный мониторинг, контроль высокотемпературного водородного растрескивания, выявление ступенчатого растрескивания, контроль композиционных материалов и многое другое.

- Совместим с существующими преобразователями и сканерами.
- Модель 32:128PR, TFM 64-элемента.
- Также доступны 16:64PR и 16:128PR.
- До 8 групп, 1024 законов фокусировки.
- Внутренний твердотельный SSD-накопитель (64 ГБ), расширяемый с помощью внешнего USB-накопителя.

Использование разных режимов TFM (групп волн) в ходе одного контроля дает больше шансов выявить дефекты с нетипичной ориентацией. Дефектоскоп OmniScan X3 с возможностью использования до 4-х режимов TFM одновременно позволяет генерировать изображения под разными углами. Чувствительность и характеристики каждого режима (такие как, дифракция на концах дефекта, «угловой отражатель» и профиль дефекта) могут использоваться одновременно для подтверждения типа дефекта и более точного определения его размеров.

Программное обеспечение MXU5.6.0 и OmniPC5.6.0.

В июне 2021 года вышли глобальные обновления программного обеспечения для работы с Oniscan X3, которые существенно улучшили работу, добавлены новые возможности, увеличен срок службы батареи на 10 %.

ОЦІНКА КОМПЕТЕНТНОСТІ ПЕРСОНАЛУ З НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

І.О. Ластівка, В.Г. Демидко

Національний авіаційний університет, Київ

При сертифікації контролерів та аудиторів використовуються моделі ділової досконалості Європейського фонду управління якістю.

Алгоритм моделювання комплексної оцінки компетентності має такий вигляд [1]:

- визначення вимог (необхідних особистісних характерних показників, знань, умінь) та специфіки діяльності фахівців із неруйнівного контролю);
- визначення основних оцінних ознак компетентності як складових узагальненого показника компетентності;
- установлення критеріїв оцінки — визначення його кількісних та якісних показників;
- визначення інструментарію — методів оцінки;
- визначення формули узагальненого показника компетентності;
- визначення процесів органу сертифікації персоналу (ОСП), необхідних для підтвердження компетентності персоналу певного виробничого сектору;
- визначення показників моніторингу процесів ОСП та критеріїв перебігу процесів сертифікації персоналу в керованих умовах.

Метою доповіді є вироблення пропозицій з покращення стану оцінки компетентності персоналу з неруйнівного контролю (НК) авіатехніки.

Модель базується на положенні, що фахівець — це особа, яка має компетентність для проведення неруйнівного контролю та характеризується певними оцінними ознаками. Компетентність — доведена здатність застосовувати знання та вміння. Компетентність — це сумарна оцінка освіти, досвіду, кваліфікаційної підготовки, результатів стажування, особистісних якостей, знань та умінь, необхідних спеціалісту. Компетентність оцінюється за допомогою процесу сертифікації персоналу як результат сукупності узагальнених оцінних ознак: кваліфікаційного потенціалу, потенціалу особистості персоналу, знань та умінь, потрібних спеціалісту.

Інструментарій оцінки потенціалу особистості спеціаліста передбачає використання таких методів:

- спостереження — виконання ролей (ділові ігри, презентації письмових відповідей), виконання робіт з НК у присутності свідків (проведення НК з метою стажування під керівництвом та наглядом спеціаліста другого або третього рівня кваліфікації), діяльність на робочому місці;
- аналіз документів — відгуку-оцінки керівника стажування, характеристики працевдавця;
- психометричне тестування.

Емпіричні оцінки проводяться в ході експлуатації авіаційної техніки. Міра d таких оцінок [2, 3] знаходиться за допомогою матриць-ранжировок A і B з елементами a_{ij} та b_{ij} відповідно. Ці елементи дорівнюють:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i \text{ залежить від } j, \\ 0, & \text{коли не залежить.} \end{cases}$$

Міра оцінок знаходиться за формулою:

$$d = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j (a_{ij} - b_{ij})^2. \quad (1)$$

Розглянемо дві множини, які представимо у вигляді двох матриць. Рядки матриці A : 1) визначення вимог до фахівців із неруйнівного контролю; 2) визначення основних оцінних ознак компетентності як складових узагальненого показника компетентності; 3) критерії оцінки; 4) підприємства з обслуговування. Стопчикки цієї матриці: 1) технічні можливості аеропортів; 2) державна підтримка для створення новітніх технологій; 3) зношення основних фондів; 4) розвиток повітряного транспорту та авіаційних робіт:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Рядки матриці B : 1) модернізація парку повітряних суден; 2) кількість формальностей, необхідних для підтвердження компетентності персоналу певного виробничого сектору; 3) визначення інструментарію — методів оцінки; 4) інвестиції у транспорт. Столпчики матриці 1) наявність кваліфікованих кадрів; 2) податкова політика щодо авіаційної галузі; 3) рівень нормативно-правової бази для сертифікації операторів, невизначеність умов; 4) визначення показників моніторингу процесів ОСП та критеріїв перебігу процесів сертифікації персоналу в керованих умовах.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Спочатку знайдемо різницю матриць:

$$a_{ij} - b_{ij} = A - B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Далі за формулою (1) знаходимо напівсуму квадратів елементів останньої матриці:

$$d = 0,5 (0+0+0+1+1+0+0+0+(-1)^2+0+1+(-1)^2+0+0+0) = 2,5.$$

Таким чином, за допомогою матриці узгодженості оцінена рентабельність оцінки компетентності персоналу. Для порівняння можливо використання інших матриць-ранжировок або інших критеріїв.

Висновки

Наведений метод аналізу доцільно застосовувати в задачах технологічного передбачення як на етапі попереднього аналізу для обґрунтування мети дослідження та виявлення критичних технологій, так і на етапах якісного аналізу та створення альтернатив сценаріїв бажаного поведіння систем або їхніх окремих елементів у майбутньому.

На основі аналізу отриманих результатів визначені напрямки подальшого розвитку і вдосконалення розробленої методології.

1. Білокур І.П., Демидко В.Г. (2019) Комплексна оцінка компетентності персоналу з неруйнівного контролю. *Проблеми тертя та зношування*, 85(4), 123–129.
2. Борець І.В., Демидко В.Г. (2020) Вибір показників якості для оцінки рентабельності авіаційних перевезень. *Зб. тез Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми організації авіаційних, мультимодальних перевезень та застосування авіації в галузях економіки»*, 27 листопада 2020 р. Київ. НАУ, сс. 23–24.
3. Кемени Дж., Снелл Дж. (1972) *Кибернетическое моделирование*. Москва, Сов. радио, 63–69.

ПЕРСПЕКТИВИ І РОЗВИТОК КОМПАНІЙ АСОЦІАЦІЇ «ОКО» В НОВИХ УМОВАХ СУЧАСНОГО СВІТУ

Т.М. Луценко

ПрАТ «УкрНДІНК», Київ

Український науково-дослідний інститут неруйнівного контролю (УкрНДІНК) має великий науковий та виробничий потенціал, що дозволяє розробляти сучасні засоби неруйнівного контролю (НК). УкрНДІНК тісно співпрацює з виробничими підприємствами «Ультракон-Сервіс» та «Промприлад», що також входять в Асоціацію «ОКО». Наші розробки успішно впроваджуються в різних галузях промисловості: машинобудуванні, енергетиці, металургії, нафтогазовій галузі, залізничному та авіаційному транспорті.

Підприємствами Асоціації «ОКО» налагоджено виробництво портативних дефектоскопів для ручного, механізованого та автоматизованого контролю ультразвуковим, вихрострумовим, акустико-емісійним, магнітопорошковим методами і методом вібродіагностики.

На сьогоднішній день прилади та системи, розроблені Асоціацією «ОКО» використовуються майже у шести десяти країнах світу, таких як: США, Німеччина, Туреччина, Китай, Японія, Канада, Франція, Сінгапур, Індонезія, Італія, країни СНД та інші.

Асоціація «ОКО» має величезний досвід організації та участі в національних і міжнародних науково-технічних конференціях і виставках, починаючи з 1995-го року.

займається розробкою технологій та засобів неруйнівного контролю, їх інтеграцією в технологічні процеси виробництва.

УкрНДІНК було організовано у 2004 році як об'єднання провідних вчених та спеціалістів, що присвятили себе розробці та вдосконаленню методів, технологій і засобів НК.

Механізовані та автоматизовані системи, які розробляє УкрНДІНК, застосовуються у різних галузях промисловості, дозволяючи контролювати залізничні рейки, колісні пари, вісі, авіаційні колеса, труби, зварні шви тощо при виготовленні та експлуатації.

При УкрНДІНК було створено орган із сертифікації персоналу (ОСП) в сфері НК технічних об'єктів залізничного транспорту. Сертифікація спеціалістів з НК згідно із вимогами стандарту ISO 9712:2012 проводиться на основі атестату акредитації № 60012 від 14 січня 2019 року, виданого Національним агентством з акредитації України. ОСП «УкрНДІНК» зареєстрований в договорі MRA ICNDT про багатостороннє взаємовизнання сертифікатів спеціалістів НК, виданих відповідно до стандартів ISO/IEC 17024:2012 та ДСТУ EN ISO 9712:2014.

НВФ «Ультракон-Сервіс» є відомим розробником засобів НК, першою компанією в Україні, яка зайнялася виробництвом обладнання НК.

Підприємство, вже протягом більш ніж 28 років, виробляє портативні прилади і автоматизовані системи НК, серед яких є розробки, які не мають аналогів у світі.

В 2001 році на базі НПФ «Ультракон-Сервіс» було створено навчальний центр неруйнівного контролю, який, згідно із ліцензією Міністерства освіти та науки України, проводить підготовку спеціалістів за всіма методами НК.

Підприємство пропонує своїм замовникам виготовлення обладнання НК «під ключ» — на даний момент дефектоскопи та автоматизовані системи, які розробляє «Ультракон-Сервіс», успішно працюють у майже 60 країнах по всьому світу, створюючи Україні репутацію провідного експерта та надійного партнера у галузі неруйнівного контролю.

НВФ «Промприлад» була створена у 1996 році і займається розробкою та виробництвом обладнання ультразвукового, вихрострумового, акустико-емісійного, магнітного, візуального, електромагнітно-акустичного та капілярного методів НК.

Прилади та системи НК, які розробляються НВФ «Промприлад», використовуються для суцільного контролю обладнання, перевірки окремих виробів та ділянок, виявлення дефектів та ушкоджень, підтвердження даних, отриманих при первинних виробничих або експлуатаційних інспекціях, тощо.

На базі підприємства функціонує центр з ремонту приладів та їх сервісному обслуговуванню.

НОВІ АСПЕКТИ ПОШКОДЖУВАНOSTІ МЕТАЛУ ВУЗЛА ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ КОЛЕКТОРА З ПАТРУБКОМ ДУ1200 ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

**О.В. Махненко¹, О.С. Костенев¹, М.В. Черкашин²,
А.В. Бажуков³, А.Н. Палій³, М.П. Разиграєв⁴**

¹*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

²*ТОВ «УКРЦНІТМАШ»*

³*ВП «Южно-Українська АЕС»*

⁴*АТ «НВО «ЦНДІТМАШ»*

Вузол зварного з'єднання (№ 111) колектора з патрубком Ду1200 парогенератора ПГВ-1000 (рис. 1) є об'єктом періодичного ультразвукового контролю, виконуваного в умовах експлуатації АЕС з енергоблоком ВВЕР-1000. Патрубок Ду1200 парогенератора і колектор виготовляють зі сталі 10ГН2МФА (перлітного класу). Зварне з'єднання № 111 може мати дві конструкції: симетричну і несиметричну, корінь зварного шва виконують ручним аргонодуговим зварюванням дротом 08Г2С. Заповнення основної частини шва виконують

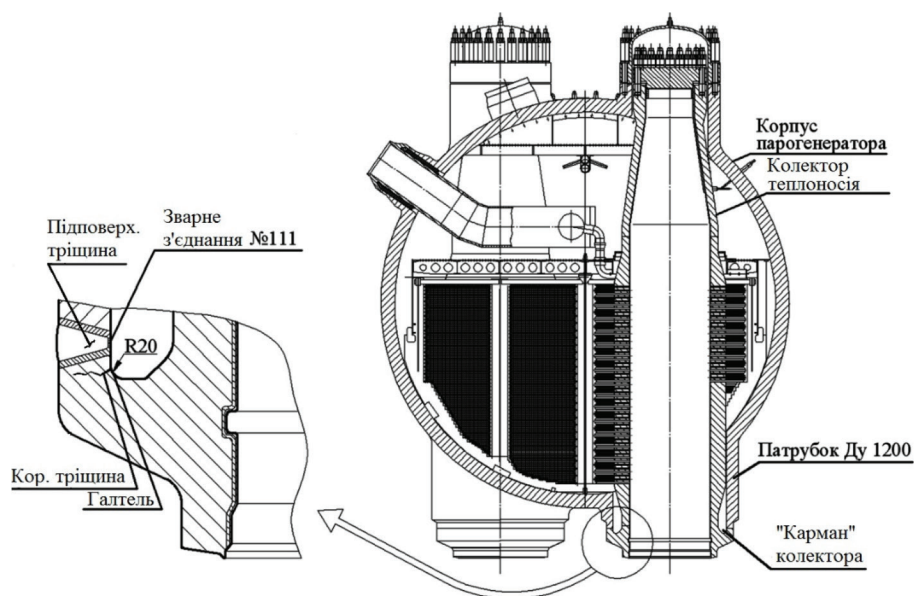


Рис. 1. Корозійні пошкодження і підповерхневі технологічні дефекти у вузлі зварного з'єднання № 111

при ручному зварюванні електродами ЦУ-7 або УОНИ-13/55 Ø4 мм або Ø5 мм, а при автоматичному зварюванні під флюсом використовуються дрот Св-08ГСМТ та Св-10ГН1МА Ø2 мм. Між патрубком Ду1200 (зі сторони кореня зварного шва) і корпусом колектора є простір — «карман» (рис. 1), розташований у другому контурі реакторної установки ВВЕР-1000. З іншого боку від патрубка по відношенню до зварного шва вузол включає колектор з ухилом 25° або 30°. Ухил виходить на патрубок колектора Ду850 (з антикорозійним наплавленням), до якого приварюється трубопровід ГЦК Ду850 (перший контур).

Починаючи з 1998 року на різних АЕС були виявлені корозійно-механічні пошкодження на внутрішній поверхні вузла зварного з'єднання № 111. При проведенні в 2012 році УЗК зварного з'єднання № 111-1 (гарячий колектор) ПГ-1 енергоблоку № 3 ВП ЮУ АЕС були виявлені підповерхневі несучільності на глибині 52–60 мм, тобто на відстані приблизно 15 мм від внутрішньої поверхні, і які мають, найбільш ймовірно, технологічну природу. В ході проведених металографічних дослідженнях несучільностей на вирізаних темплетях пошкодженого металу підтверджено наявність в металі зварного з'єднання № 111-1 ЗПГ-1 поперечних тріщин. Характерний розмір виявлених дефектів — довжина до 7 мм, орієнтація — під кутом до основних напрямків. В 2019 році виявлені підповерхневі несучільності на невідремонтованій ділянці зварного з'єднання № 111-1 ЗПГ-1. Наступні УЗК при щорічних планово-попереджувальних ремонтах не виявили підростання виявлених несучільностей.

Проведена розрахункова оцінки допустимості виявлених несучільностей матеріалу в зоні зварного з'єднання № 111 при нормальних умовах експлуатації (НУЕ) і в умовах гідровипробувань (ГВ) за допомогою методів механіки руйнування при схематизації вказаних несучільностей як кільцевих і осьових підповерхневих тріщин. Умова спонтанного зростання (порушення рівноваги) тріщини визначалася на основі двокритеріального підходу, згідно з яким

$$K_r \leq f_1(L_r), \quad (1)$$

де $K_r = K/K_{IC}$ — відношення інтенсивності напружень K у вершині тріщини до критичного значення цієї величини K_{IC} ; $L_r = \sigma_{ref}/\sigma_T$ — відношення критичного значення напруження σ_{ref} , яке відповідає появі пластичної нестійкості, до межі текучості σ_T . Крива граничного стану (критерій спонтанного крихко-в'язкого руйнування) описується наступним рівнянням:

$$K_r \cdot n = \left[1 - 0,14(L_r \cdot n)^2 \right] \times \left[0,3 + 0,7 \exp(-0,65L_r^6 \cdot n^6) \right], \quad (2)$$

де n — значення коефіцієнта безпеки, що визначає відношення граничних навантажень до діючих, для зазначеного руйнування.

Допустиме значення коефіцієнта інтенсивності напружень для робочих умов аварійної ситуації (АС) при температурі 70 °С (мінімальна температура ГВ) $[K_{IC}]_3 = 134 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, при температурі вище 80 °С (температура НУЕ 300 °С) $[K_{IC}]_3 = 158 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

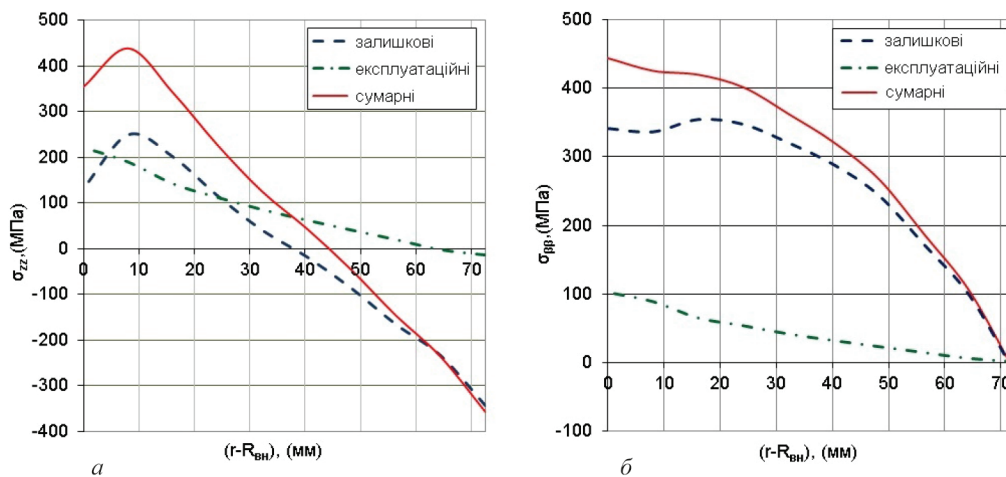


Рис. 2. Розподіл максимальних сумарних напружень по товщині стінки патрубка ПГ в зоні зварного з'єднання № 111: *a* — осьова компонента; *б* — кільцева компонента

Напруження в зоні тріщини приймалися згідно розрахунковому розподілу по товщині стінки патрубка сумарних напружень від робочого тиску при НУЕ і залишкових напружень після локальної післязварювальної термообробки (рис. 2).

Виконані розрахунки на крихко-в'язке руйнування за двокритеріальним підходом показали, що виявлені несучільності в зоні зварного з'єднання № 111, розташовані на глибині приблизно 15 мм від внутрішньої поверхні і які можуть бути класифіковані як кільцеві або осьові підповерхневі тріщини з характерними розмірами: довжина $2c = 7,5$ мм та глибина $2a = 5,0$ мм, є допустимими при НУЕ, оскільки мінімальний коефіцієнт запасу проти спонтанного зростання тріщини $n_{\min} = 3,32 > 2$, а також в умовах ГВ $n_{\min} = 2,15 > 1,5$.

Оскільки підповерхневі несучільності не схильні до розвитку за корозійним механізмом, то найбільш небезпечним фактором з точки зору можливого збільшення розмірів несучільностей можуть бути планові гідравлічні випробування, при яких в матеріалі зварного з'єднання № 111 виникають напруження від внутрішнього тиску вищі, ніж при НУЕ, і при цьому матеріал через нижчу температуру розігріву має знижені характеристики в'язкості руйнування.

РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ГОЛОВНИХ ПРОГОНОВИХ БАЛОК МОСТУ ім. Є.О. ПАТОНА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО У м. КИЄВІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

О.О. Махненко, О.В. Махненко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Київський міський міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро, побудований і прийнятий в експлуатацію в 1953 р., є унікальною інженерною спорудою, під час будівництва якого були використані передові на той час зварювальні технології, зокрема технології механізованого зварювання під шаром флюсу. Міст складається з 24-х прогонових споруд та має загальну довжину 1542 м. У поперечному перерізі кожна споруда мосту має чотири головні поздовжні балки двотаврового перетину. Балка складається з вертикальної стінки, висотою 3600 мм і товщиною 14 мм і поясів різної товщини від 30 до 80 мм при ширині до 1000 мм. Стійкість стінки балки додатково забезпечується повздовжніми і вертикальними ребрами. У 6-ти прогонових спорудах, висота стінки над проміжними опорами, за рахунок пристрою вугів, збільшена до 6200 мм.

При проведенні в 2020 році неруйнівного контролю головних прогонових балок мосту були виявлені досить значні корозійні пошкодження в зоні з'єднання стінки з полкою. Згідно конструкторської документації для оцінки навантаженості, а також зміни несучої здатності прогонової балки мосту при наявності локальних корозійних дефектів побудована геометрична та скінченна-елементна моделі головної 6-прогонової балки. Модель складається з одного прогону, від середини вута до середини прогонної частини, з умовою симетрії на обох кінцях. На опорній площі вута призначені граничні умови за переміщеннями, вертикальна компонента яких дорівнює нулю, що відповідає умовам опирання прогонової балки на опорах мосту.

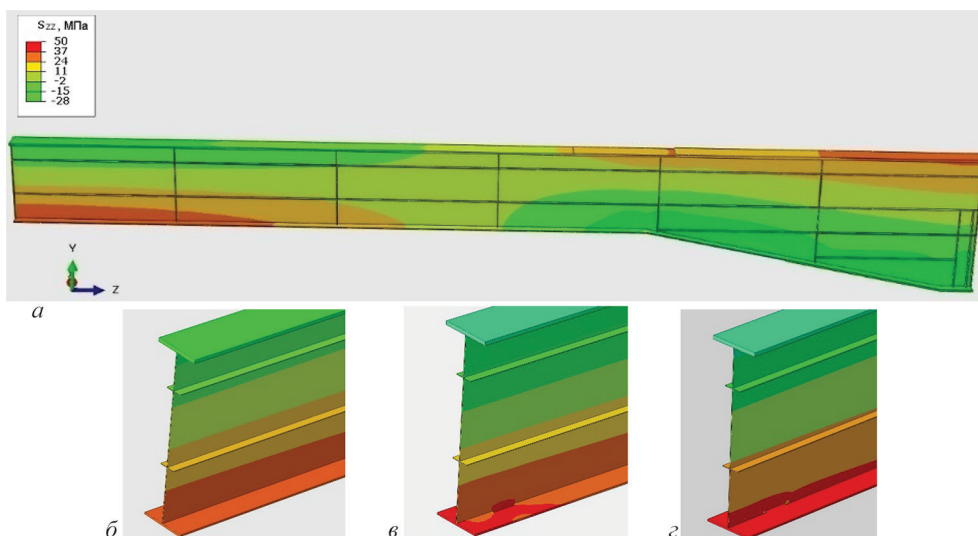


Рис. 1. Розподіл поєдовжніх напружень по прогоноу від розподіленої сили ($P = 0.022$ МПа), прикладеної до верхньої полки: *a* — по всій балці; *б* — в центральній частині без дефекту (до 37 МПа); *в* — з дефектом в полиці (до 41 МПа); *з* — з дефектом в стінці (до 40 МПа)

Несучі конструкції мостів розраховуються на дію постійних навантажень і несприятливих комбінацій тимчасових навантажень, зазначених у розділі 2 ДБН В.1.2-15 [1]. Розрахунки виконуються за граничними станами відповідно до вимог 4.3. ДБН В. 2.3-22:201X [2]. Згідно пункту 8.3.1 [2] навантаження від автотранспортних засобів на кожну смугу приймається у вигляді рівномірно розподіленого навантаження з інтенсивністю $v = 0,98K$ кН/м (0,1 К·тс/м), де K — клас навантаження, що приймається згідно з 8.3.2 [1]. $K = 15$ — на автомобільних дорогах I, II і III категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, а також на мостах завдовжки понад 200 м на дорогах IV і V категорій. Міст ім. С.О. Патона має 6 смуг для проїзду автотранспортних засобів, тому інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження на міст складає $v = 0,98 \cdot 15 \cdot 6 = 88,2$ кН/м. З урахуванням того, що у поперечному перерізі мосту мають місце чотири головні поєдовжні балки, тоді згідно вимог [1] в розробленій моделі прогонової балки до верхнього поясу шириною 1 м прикладено розподілене навантаження величиною $P = 88,2$ кН/м / (4 · 1 м) = 22,05 кН/м² = 0,022 МПа. Також в моделі враховується сила ваги конструкції прогонової балки як постійне навантаження.

Для визначення впливу типових корозійних пошкоджень балки в зоні зварного з'єднання нижнього поясу в скінчено-елементну модель були введені несучільності металу розміром 500×40×40 мм в різних місцях по довжині нижнього поясу: в центральній частині вута, на похилій частині вута, в місці переходу вута у балку постійної висоти та в центральній частині прогоноу.

Результати чисельного визначення НДС прогонової балки показали, що превалюючою в прогоновій балці від розподіленої сили (0,022 МПа), прикладеної до верхньої полки, являється поєдовжня компонента напружень, максимум якої не перевищує 37 МПа. Наявність локальних корозійних дефектів в різних характерних зонах балки в зоні з'єднання стінки з полкою не викликає суттєвого підвищення поєдовжніх напру-

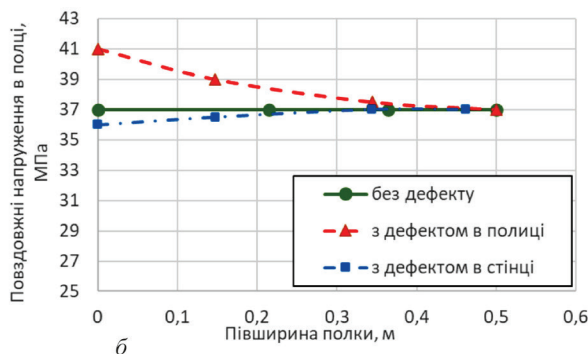
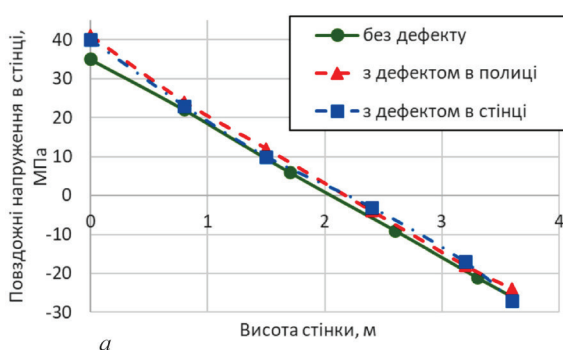


Рис. 2. Розподіли поєдовжніх напружень в центральній частині прогоноу від розподіленої сили ($P = 0,022$ МПа), прикладеної до верхньої полки, у бездефектній балці та балці з локальними корозійними дефектами наскрізь довжиною 500 мм в нижній полиці і стінці: *a* — по висоті стінки балки; *б* — по ширині нижньої полки.

жень в цих зонах (максимум до 41 МПа). Вертикальна компонента напружень значно нижче за рівнем, чим повздовжня компонента і не перевищує 5 МПа.

Таким чином, зварна конструкція головних прогонових балок мосту ім. Є.О. Патона має досить значний коефіцієнт запасу статичної міцності стосовно нормативного розподіленого навантаження, прикладеного до верхньої полки двотаврової балки, але наявність локальних корозійних дефектів несучильності матеріалу достатньо великого розміру в зоні з'єднання стінки і нижньої полки (довжиною 500 мм та наскрізь) може суттєво знизити опір втомі зварних з'єднань з виявленими дефектами, що є небезпечним з точки зору надійності прогонової споруди.

1. ДБН В.2.3-22:201X. *Мости та труби. Основні вимоги проектування*. Київ Міністерство регіонального розвитку будівництва та житловокомунального господарства України, 201X.
2. (2009) ДБН В.1.2-15:2009. *Мости та труби. Навантаження і впливи*. Київ Мінрегіонбуд України.

ПЕРША ВІТЧИЗНЯНА СИСТЕМА ШВИДКІСНОГО КОНТРОЛЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ OKOSCAN 73HS

В.П. Міщенко, Д.В. Галаненко, О.О. Андрійченко
ПрАТ «УкрНДІНК», Київ

На сьогоднішній день неруйнівний контроль є невід'ємною частиною залізничного транспорту. Фахівці ПрАТ «УкрНДІНК», вже біля 30 років працюють над створенням засобів неруйнівного контролю, використання яких дозволяє залізничному транспорту, протягом вже багатьох років, залишатися найбезпечнішим видом транспорту.

Важливість проведення неруйнівного контролю якості рейкової колії складно переоцінити, тому що залізнична колія щодня отримує колосальні навантаження від проходу по ньому як пасажирських, так і вантажних потягів, відповідно наявність в металі рейки, будь-яких дефектів не припустимою. Тому одним із пріоритетних напрямків ПрАТ «УкрНДІНК» є розробка обладнання для неруйнівного контролю рейкової колії.

У 2020 році фахівцями ПрАТ «УкрНДІНК» була розроблена і введена в експлуатацію на залізниці Туреччини (TCDD) швидкісна Система неруйнівного контролю (ультразвуковий і вихрострумний) рейок викладених у колію OKOSCAN HST. Система розроблена відповідно до вимог європейських стандартів таких як EN 16729-1: 2018 «Залізничний транспорт. Інфраструктура. Неруйнівні випробування на рейках залізничної колії. Частина 1. Вимоги до ультразвукового контролю і принципи оцінювання» і EN 16729-2 Railway applications. Infrastructure. Non-destructive testing on rails in track. Eddy current testing of rails in track.

Система OKOSCAN 73HS забезпечує контроль рейок на швидкості до 40 км/год (з можливістю збільшення швидкості контролю до 60 км/год).

Контроль рейок ультразвуковим і вихрострумним методами здійснюється при застосуванні схем контролю та схем прозвучування відповідно до EN 16729-1 і 2:

Ультразвуковий метод контролю: 12 ультразвукових перетворювачів на одну рейку, таким чином забезпечується контроль всього перерізу рейки. Реалізовані схеми контролю дозволяють виявляти всі дефекти, зазначені в каталогах UIC 712 «Rail Defect Code» і ЦП-0285 «Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок на залізницях України» та ЦП-0284 «Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень стрілочних переводів на залізниці України».

Вихрострумний метод контролю: 8 вихрострумних перетворювачів на одну рейку, таким чином забезпечується контроль поверхні кочення рейки і робочої грані рейки для виявлення дефектів типу:

- експлуатаційні поперечні тріщини (міжнародний код дефекту — 211),
- гартовочні тріщини (міжнародний код дефекту — 2223),
- відшарування робочої грані (міжнародний код дефекту — 2222),
- місця пробуксувочки коліс (міжнародний код дефекту — 225).

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ВУЗЛІ ПРИВАРЮВАННЯ КОЛЕКТОРУ ДО ПАТРУБКА ДУ1200 ПАРОГЕНЕРАТОРІВ ПГВ-1000 ПІСЛЯ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

О.Ф. Мужиченко, О.В. Махненко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Зварне з'єднання (№ 111) приварювання колектору до патрубка Ду1200 парогенераторів ПГВ-1000 енергетичної установки ВВЕР-1000 є небезпечним з точки зору утворення і розвитку корозійних тріщиноподібних дефектів. Кожен рік проводиться плановий ультразвуковий контроль всіх зварних з'єднань № 111. В останні роки в металі окремих зварних з'єднань № 111 виявлені підповерхневі несущільності технологічного характеру. Розрахункове обґрунтування подальшої безпечної експлуатації вузла з виявленими дефектами несущільності потребує даних щодо розподілу технологічних залишкових напружень після зварювання і локальної термообробки.

Патрубок Ду1200 парогенератора і колектор виготовляють зі сталі перлітного класу 10ГН2МФА. Корінь зварного шва виконують вручну аргано-дуговим зварюванням з присадковим дротом Св08Г2С. Висота кореневого проходу 6...8 мм. Заповнення основної частини шва виконують ручним зварюванням електродами ЦУ-7 або УОНИ-13/55 Ø4 мм або Ø5 мм, а при автоматичному зварюванні використовується дріт Св08Г-СМТ і Св10ГН1МА Ø2 мм і флюс ФЦ-16 або АН-17.

Технологічна операція локальної термообробки за режимом високого відпуску (650 °С, витримка 8 год) виконуються кільцевими нагрівачами (рис. 1, а) з метою релаксація залишкових напружень після зварювання.

Проведено математичне моделювання кінетики напружено-деформованого стану (НДС) в процесі багатопрохідного зварювання і післязварювальної термообробки за режимом високого відпуску. Методика визначення НДС вузла передбачає простеження за часом теплових процесів локального нагріву і охолодження, а також кінетики утворення напружень і деформацій. Використовувалась модель в'язко-пружно-пластичного матеріалу. На кожному часовому кроці пошук рішення включає: розв'язок крайової задачі визначення розподілу температури в вузлі; розв'язок крайової задачі визначення НДС з граничними умовами відповідно до заданого розподілу температури і умов закріплення. Краєві задачі з визначення температурних полів і НДС на кожному часовому кроці розв'язувалися в двовимірній постановці в поперечному перерізі вузла зварного з'єднання. Для пошуку розв'язку зазначених задач застосовувався метод скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє врахувати складну геометрію конструкції вузла зварного з'єднання № 111.

Результати математичного моделювання розподілу залишкових напружень в зварному з'єднанні № 111 після виконання зварювання всіх проходів і повного охолодження показали, що розподіли компонент залишкових напружень досить нерівномірні по товщині зварного з'єднання. Найбільш високий рівень до 530 МПа мають окружні напруження розтягу. Осьові залишкові напруження є стискаючі до -250 МПа на внутрішній поверхні з'єднання і розтягуючі до 200 МПа на зовнішній.

Моделювання релаксації і перерозподілу залишкових напружень в зварному з'єднанні № 111 після виконання локальної термообробки показало, що із-за складної геометрії вузла нагрів за допомогою локально розташованих нагрівачів не забезпечує рівномірності розподілу температури в зоні зварного з'єднання в процесі витримки (рис. 1, б). В результаті суттєво нерівномірний нагрів (градієнт температури по товщині досягає 150 °С) викликає утворення нових залишкових напружень (рис. 2), розподіл і рівень яких значно відрізняється від залишкових напружень після зварювання. Більш того, утворюється нова зона високих на-

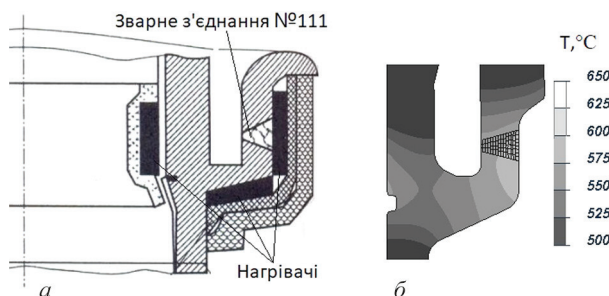


Рис. 1. Схема встановлення нагрівачів та теплоізолюючих матеріалів та розрахункові розподіли температури в процесі витримки при проведенні післязварювальної термообробки вузла зварного з'єднання № 111

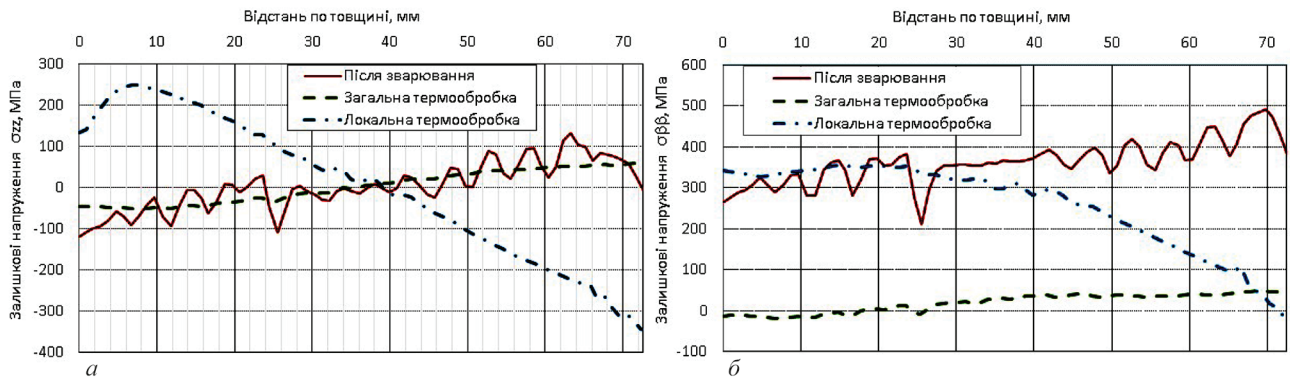


Рис. 2. Осьові σ_{zz} (а) і окружні $\sigma_{\phi\phi}$ (б) залишкові напруження по товщині зварного з'єднання № 111 після зварювання та після загальної і локальної термообробки (650 °C)

пружень розтягу, а саме, осьова компонента (рис. 2, а) на внутрішній поверхні з'єднання, що підвищує ризик розвитку корозійних дефектів.

Низька ефективність розглянутої технології післязварювальної термообробки і навіть її можливий негативний вплив на забезпечення цілісності зварного з'єднання № 111 свідчать про необхідність оптимізації технології локальної термообробки при проведенні наступних ремонтів із залученням методів математичного моделювання.

Також отримані розподіли залишкових напружень після локальної термообробки необхідно використовувати при розрахунковому обґрунтуванні подальшої безпечної експлуатації вузла з виявленими дефектами несущільності.

ЗАСТОСУВАННЯ КАПІЛЯРНОЇ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ГРАВІЮВАННЯ НА МАТЕРІАЛАХ З ОСОБЛИВИМИ ОРГАНОЛЕПТИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

В.В. Несін

*Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України, Київ*

Гравіювання активно використовується в приладобудуванні. Дозволяє наносити на поверхні панелей виробів різноманітні написи та символи для заміни написів. Здійснюється спеціальним різцем, заточеним під певним кутом, найчастіше 60°. Висока кутова швидкість шпинделя на рівні 7000÷11000 обертів за хвилину – дозволяє здійснювати вибірку матеріалу на глибину від 0,1 до 0,3 мм, а іноді й на більшу глибину, що залежить від висоти шрифту напису чи величини символу. Гравіювання застосовується до більшості конструкційних матеріалів, що використовуються в приладобудуванні.

Проблемним є застосування поверхневої механічної обробки, яким є гравіювання, та наступної перевірки якості виконаної операції в матеріалах з особливими органолептичними властивостями. Такими матеріалами є різноманітні пластики, зокрема поліаміди.

Поліамід блочний білий в тонких шарах є прозорим для електромагнітного випромінювання видимого діапазону. Певне збільшення товщини викликає розсіювання світла. Прозорість поступово замінюється помутнінням. Додається зі збільшенням товщини молочний відтінок. Зрештою, матеріал товщиною від 0,3 мм стає більшою сприймається спостерігачем шматком матеріалу білого кольору з молочним жовтуватим відтінком. Прозорість тонких шарів призводить до унеможливлення сприйняття персоналом, задіяним в технологічних операціях, таких поверхневих дефектів, як подряпини, тріщини, інші незначні нерівності рельєфу поверхні, що виходять за межі шорсткості. Гравіювання глибиною 0,1 мм також не сприймається оком людини в зазначених матеріалах за нормальних умов спостереження.

Поліамід інших кольорів має схожі органолептичні характеристики. Відмінність полягає лише в наявності основного тону кольору замість білого з молочним відтінком, який дозволяє віднести його до того чи іншого кольору спектру видимого випромінювання.

Гравіювання символів та написів виконується конічними заглибленнями на поверхнях виробів з метою втирання контрастної фарби. Фарби, як правило алкідні пентафталієві емалі, в рідкому стані капілярною силою розташовуються в гравіюваних заглибленнях і утримуються там до висихання. Висушені емалі в гравіюванні тримаються, відповідно до характеристик фарби, як правило, не менше 1 року.

Послідовність технологічних операцій передбачає виконання візуального огляду заготовок і після механічного гравіювання, і після втирання фарби. Виконати огляд після гравіювання і перевірити якість виконаної роботи за характерними ознаками через описані органолептичні властивості зазначених матеріалів неможливо. Чіткість, доступність, зрозуміла подача відомостей користувачам виробів — є основними вимогами, які висуваються до гравіюваних символів і написів. Контрастна фарба, внесена в поверхневі заглиблення, дозволяє чітко побачити, сприйняти, зрозуміти спостереженнями інформацію, що подається на панелях виробів символами і написами. Дозволяє втерта фарба, також, перевірити геометрію механічного гравіювання поверхні заготовки. Фактично операція втирання контрастної емалі чи іншого виду фарби, будучи окремою операцією, стає складовою контрольною операцією гравіювання. Візуальний контроль доповнюється елементарними діями капілярного контролю. Функцію проникаючої рідини виконує контрастна фарба. Якість втирання фарби перевіряється за стандартною процедурою.

Спираючись на викладену ситуацію та враховуючи наведенні припущення та обґрунтування, пропонується послідовність операцій гравіювання та втирання фарби замість стандартного маршруту технологічних операцій «гравіювання – контроль – втирання – контроль» замінити послідовністю: «гравіювання – втирання – контроль».

СИСТЕМИ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОЛІС СЕРІЇ «SMARTSCAN»

А.В. Опанасенко, М.В. Верютін, В.П. Міщенко

ПрАТ «УкрНДІНК», Київ

У доповіді висвітлюється тема виконання неруйнівного контролю коліс сучасного авіаційного парку. Розглядаються методи НК, які на сьогоднішній день є актуальними і застосовуються в авіаремонтних підприємствах для проведення контролю.

Показується важливість проведення вихрострумового контролю і варіанти його реалізації на авіаремонтних підприємствах. Розглядаються ручний і автоматизований варіанти реалізації вихрострумового контролю, переваги і недоліки кожного з них.

Також наводиться доцільність застосування автоматизованих установок типу SmartScan-FA, для забезпечення достовірного контролю і документування результатів контролю в повному обсязі.

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. Павлий, Н.П. Казенов, И.Я. Кухта

НПФ «Диагностические приборы», Киев

В настоящее время радиационные методы остаются одними из самых достоверных и наглядных среди всех физических методов неразрушающего контроля, несмотря на риски связанные применением ионизирующего излучения.

Развитие метода сегодня определяется развитием двух важнейших составляющих технологии радиационного контроля. Развитие, улучшение, оптимизация источников ионизирующего излучения — первый аспект. Применение передовых технологий в разработке новых источников детектирования излучения после взаимодействия с объектом контроля.

Пути развития источников — уменьшение размеров фокусного пятна, уменьшение масса-габаритных размеров, улучшение мощностных характеристик источников ионизирующего излучения. Так производители предлагают на рынок новые модификации рентгеновских аппаратов с революционными характеристиками.

Так аппараты постоянного типа излучения традиционно представляли собой достаточно массивное цилиндрическое изделие с боковым выходом (или панорамным) излучения, с весом от 27 кг (при мощности 200 кВ и способности просветить изделие с радиационной толщиной около 40 мм). Сегодня аппарат с такими параметрами весит 12 кг. И размер фокусного пятна с традиционных 2,5–3 мм уменьшен до 0,8–1,5 мм, что в свою очередь увеличивает разрешающую способность и качество изображения.

Детекторы. Полупроводниковые панели — сегодня самая перспективная технология детектирования. Панели обеспечивают разрешающую способность, сопоставимую с лучшими пленочными системами, позволяют снизить время экспозиции (а значит и дозу). Оцифрованное изображение на экране компьютера или планшета получаем практически в реальном режиме времени. Есть ограничения. Панели чувствительны к состоянию окружающей среды. Не переносят механического воздействия. Требуются дополнительное ПО для обработки изображений изделий с криволинейными поверхностями, например при контроле сварных соединений труб. Тем не менее в связке с малофокусными рентгеновскими аппаратами, подобные системы имеют очень хорошие перспективы к применению.

«Фосфорные» пластины. Системы компьютерной радиографии, в основе которых лежит использование гибких многоцветных детекторов нашли уже достаточно широкое применение в радиографии сварных швов и литья, в т.ч. и в Украине. Ресурс многоцветной пластины может достигать до 4000 экспозиций, Сканер, считывающий и обнуляющий пластину преобразовывает скрытое изображение в графический файл, с которым (как и в случае с полупроводниковыми панелями) возможна работа с ПК в полевых или лабораторных условиях. Достоинства технологии — высокая скорость получения изображения, гибкость пластин, динамический диапазон, относительная дешевизна.

Традиционные рентгеновские пленки. Рентгеновские технические пленки — технология 20-го века на сегодня остается основной для применения в полевых и стационарных условиях, ввиду простоты, надежности и предсказуемости. Рентгеновские технические пленки разных производителей отличаются между собой структурой кристаллов галогенида серебра (в форме кубиков у АГФА НДТ, или плоские как у Кэстрим). Также в погоне повышения конкурентоспособности производители экспериментируют с количеством серебра в пленочной эмульсии (Fujifilm). Для работы с флуоресцентными и флуорометаллическими экранами в линейке большинства производителей имеется специальная пленка с специальными добавками в эмульсию, которые делают эти пленки чувствительными не только к рентгеновскому излучению, но и к вторичному излучению флуоресцентных экранов (синих или зеленых). Это позволяет существенно снизить время экспозиции. Иногда в 20 раз.

Правильный подбор источников и детекторов ионизирующего излучения позволяет обеспечить высокое качество работ по рентгеновскому контролю, с обеспечением минимальных доз облучения и обеспечения высокой достоверности рентгеновских изображений.

КОНТРОЛЬ ШАРУВАТИХ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ КОЕРЦИТИМЕТРАМИ З ПРИСТАВНИМИ ДАВАЧАМИ

В.Г. Рибачук¹, В.М. Учанін¹, Р.М. Соломаха², Г.Я. Безлюдько²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

²НВФ «Спеціальні наукові розробки», Харків

Однією із тенденцій у розвитку сучасного машинобудування є широке використання шаруватих конструкційних матеріалів одним із різновидів яких є структури, які складаються з кількох шарів феромагнітних матеріалів з різними магнітними властивостями. Неруйнівний контроль таких матеріалів можна здійснювати магнітними методами, зокрема, шляхом вимірювання їх коерцитивної сили. Відомо, що даний магнітний параметр є чутливим до структури матеріалу та його фізико-механічних характеристик. Методи коерцитиметрії застосовують для контролю великої номенклатури конструкційних матеріалів, яким притаманні магнітні властивості: сталі, чавуни, спечені тверді сплави, литі постійні магніти та деякі інші. Традиційно для неруйнівного контролю виробів з сталей та чавунів використовують коерцитиметри-структроскопи з приставними давачами у вигляді електромагнітів з П-подібними осердями. За їх допомогою здійснюють сортування матеріалів за маркам, контролюють твердість, міцність, визначають товщину загартованого або цементованого шару, якість термічної та хіміко-термічної обробки, оцінюють втомний стан і залишковий ресурс металоконструкцій, також структурну цілісність матеріалів та напружений стан металоконструкцій

[1–3]. Особливість застосування цих приладів для неруйнівного контролю шаруватих феромагнітних матеріалів полягає у тому, що їх покази визначаються магнітними властивостями всіх шарів матеріалу і відповідають деякому ефективному значенню коерцитивної сили матеріалу в цілому.

Відомий вираз для ефективної коерцитивної сили двошарового феромагнітного матеріалу [4]:

$$H_{cef2} = H_{c1} H_{c2} \frac{B_{r1} + B_{r2}}{B_{r1} H_{c2} + B_{r2} H_{c1}}, \quad (1)$$

де H_{c1} , H_{c2} , B_{r1} і B_{r2} — значення коерцитивної сили і залишкової індукції відповідно першого і другого шарів феромагнітного матеріалу.

При виведенні формули (1) було застосовано підхід в основу якого покладено зведення до нульового значення суми магнітних потоків розмагнічування, створюваних у обох шарах феромагнітного матеріалу приставним давачем з П-подібним осердям. Для аналітичного опису кривих розмагнічування («спинки» петель гістерезису) окремих шарів була прийнята лінійна апроксимація залежностей магнітної індукції в матеріалі від напруженості поля розмагнічування, а також вважалося, що товщини шарів є однаковими.

Оскільки реальні шаруваті феромагнітні матеріали можуть складатися не з двох, а більшої кількості шарів, то актуальним є встановлення зв'язку між ефективною коерцитивною силою матеріалу, який складається з довільної кількості феромагнітних шарів, та магнітними параметрами його окремих шарів. Для досягнення цієї мети на основі використання описаного вище підходу були отримані аналітичні вирази для ефективної коерцитивної сили три- і чотиришарових феромагнітних матеріалів з однаковою товщиною шарів, які мають відповідно наступний вигляд.

Для тришарового матеріалу:

$$H_{cef3} = H_{c1} H_{c2} H_{c3} \frac{B_{r1} + B_{r2} + B_{r3}}{B_{r1} H_{c2} H_{c3} + B_{r2} H_{c1} H_{c3} + B_{r3} H_{c1} H_{c2}}, \quad (2)$$

де H_{c3} і B_{r3} — магнітні параметри (коерцитивна сила і залишкова індукція відповідно) граничної петлі гістерезису по якій перемагнічується третій феромагнітний шар матеріалу.

Для чотиришарового матеріалу:

$$H_{cef4} = H_{c1} H_{c2} H_{c3} H_{c4} \times \left[\frac{B_{r1} + B_{r2} + B_{r3} + B_{r4}}{B_{r1} H_{c2} H_{c3} H_{c4} + B_{r2} H_{c1} H_{c3} H_{c4} + B_{r3} H_{c1} H_{c2} H_{c4} + B_{r4} H_{c1} H_{c2} H_{c3}} \right], \quad (3)$$

де H_{c4} і B_{r4} — відповідно коерцитивна сила і залишкова індукція четвертого шару шаруватого феромагнітного матеріалу.

Аналіз виразів (1)–(3) вказує на існування в них чітких закономірностей. Це дозволяє їх узагальнити на випадок вимірювання коерцитивної сили матеріалу, який складається з довільної кількості феромагнітних шарів однакової товщини. Рекурентна формула для ефективної коерцитивної сили n -шарового феромагнітного матеріалу може бути записана наступним чином:

$$H_{cefn} = \prod_{k=1}^n H_{ck} \frac{\sum_{k=1}^n B_{rk}}{\sum_{k=1}^n B_{rk} \prod_{\substack{i \neq k \\ i, k \geq 1}} H_{ci}}, \quad (4)$$

З формул (1)–(4) випливає, що ефективна коерцитивна сила шаруватих феромагнітних конструкційних матеріалів визначається не тільки коерцитивною силою окремих шарів, але також і значеннями їх залишкової індукції. Тому для розрахунку передбачуваного значення H_{cefn} різних за складом шаруватих феромагнітних структур необхідно мати вихідні значення коерцитивної сили і залишкової індукції їх окремих шарів. В якості технічних засобів для їх отримання можна використати магнітні аналізатори, зокрема, КРМ-Ц-МА, розроблений НВФ «Спеціальні наукові розробки» (м. Харків). В приладі реалізовано вимірювання комплексу магнітних характеристик матеріалів: коерцитивної сили, залишкової індукції, магнітної проникності, площі петлі гістерезису та деяких інших.

Для перевірки розглянутого підходу до визначення ефективної коерцитивної сили аналізатором КРМ-Ц-МА були виміряні магнітні характеристики зразків із двох марок сталей. Кожен зразок набирався із 6-и полос розмірами $87 \times 50 \times 1$ мм. Результати вимірювань наступні: $H_{c1} = 157$ А/м, $B_{r1} = 0,046$ Т і $H_{c2} = 253$ А/м, $B_{r2} = 0,074$ Т. Потім із вказаних полос було складено зразок шаруватого матеріалу, який включав по 3-и полоси кожної із цих сталей. За результатами вимірювань ефективна коерцитивна сила такого зразка становила $H_{c \text{ ef exp}} = 199$ А/м. Розрахункове значення ефективної коерцитивної сили згідно формули (4) дорівнює $H_{c \text{ ef cal}} = 205$ А/м. Отримані значення $H_{c \text{ ef exp}}$ та $H_{c \text{ ef cal}}$ добре узгоджуються між собою. Розбіжність між ними становить 3 %.

1. Назарчук З.Т., Рибачук В.Г., Учанин В.Н. (2011) Электромагнитная структуроскопия конструкционных материалов. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, 1, 8–16.
2. Попов Б.Е., Безлюдько Г.Я., Ёлкина Е.И., Соломаха Р.Н. (2009) Контроль усталости металла коэрцитиметрическим методом как объективная первооснова диагностики оборудования и конструкций. *В мире неразрушающего контроля*, 44(2), 28–32.
3. Uchanin V., Ostash O., Nardoni G., Solomakha R. (2020) *Coercive Force Measurements for Structural Health Monitoring*. Chapter 5. In: *The Fundamentals of Structural Integrity and Failure*. (Ed. Richard M. Wilcox), Nova Science Publishers, NY, USA.
4. Рибачук В.Г., Учанін В.М. (2020) Особливості вимірювання коерцитивної сили за неоднорідного намагнічуванні об'єкта контролю. *Зб. тез доповід. XXIII Міжнар. конф. «Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану» м. Одеса*, 34–35.

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОБІТ ІЕЗ ім. Є.О. ПАТОНА З РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

В.А. Троїцький, О.Г. Бондаренко, Ю.М. Посипайко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Розвиток зварювальних технологій зараз немислимо без використання методів неруйнівного контролю (НК), які сприяють підвищенню якості матеріалів та зварних конструкцій відповідального призначення. Це в свою чергу призвело до розвитку фундаментальних основ дефектоскопії, до збільшення кількості розробок по НК.

Оптимальним є паралельність створення технології зварювання і технологій оцінки якості за допомогою радіаційних, акустичних, магнітних, теплових, капілярних та інших методів оцінки якості зварних з'єднань без руйнування. Тому одночасно з розвитком зварювання всі ці роки в ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблялися технології і створювалося обладнання для НК.

Ще в 1955 р. в ІЕЗ ім. Є.О. Патона з'явилася перша спеціалізована лабораторія фізичних методів оцінки якості зварних з'єднань, а в 1976 р. створені науковий (№ 4) і два конструкторських відділу. Спільними зусиллями цих підрозділів розроблено понад дві сотні різних проектів, більшість з яких були реалізовані в провідних галузях промисловості країни.

В останні роки зусилля наших фахівців зосереджені на найбільш перспективних напрямках розвитку технологій НК.

В області радіаційного контролю в Інституті протягом багатьох десятиліть функціонують дві дослідні лабораторії. Співробітники цих лабораторій виконували розробки рентгенівських детекторів з малим вмістом срібла, рентгентелевізійний систем, пристроїв для автоматичного розшифрування рентгенографічних зображень, портативних дозиметрів. В останні роки тут створено обладнання для цифрової радіоскопії зварних з'єднань на основі ПЗС-матриць, системи цифрової обробки рентгенограм, їх розшифрування та архівування інформації. Одна з лабораторій в останні роки працює в структурі навчального центру зварювання. Друга — в структурі відділу № 4. Це унікальна високоенергетична радіаційна лабораторія з біологічним захистом до 18 МеВ, в якій проводяться дослідження виробів великої товщини до 80 мм (по сталі) з використанням потужних рентгенівських апаратів.

Найважливішим напрямком досліджень останніх років є роботи з вивчення можливостей низькочастотного (НЧ) далекодуючого ультразвукового контролю (УЗК), що дозволяє контролювати довгомірні конструкції без сканування їх поверхні, розташовуючи на них УЗ антену. НЧ УЗ-система для визначення корозійного зносу і інших великих пошкоджень трубопроводів дає можливість оцінювати технічний стан всього об'єкта в обидві сторони від місця розташування антени. В основу дії системи покладено принцип аналізу відбитих

низькочастотних спрямованих хвиль, здатних поширюватися на великі відстані. При цьому виявляються корозійні враження і інші дефекти, глибина яких не менше 10 % від товщини стінки труби на відстані до 100 м. Тривають роботи по впровадженню УЗ-технологій і засобів для реалізації ультразвукових хвиль дифракції (метод TOFD). Це метод точного визначення розташування і розмірів гострих внутрішніх дефектів. Традиційними для нас є роботи по вдосконаленню і підтримки працездатності установок автоматизованого УЗК зварних з'єднань труб великого діаметру на трубних заводах.

В області магнітного контролю широкого поширення набули розроблені рухливі намагнічуючі пристрої на постійних магнітах. Вони істотно потіснили електромагніти на виробництві.

Ми також виконуємо дослідження і розробки в тепловому, візуальному і капілярному контролі, в контролі герметичності, виконуємо комплексне діагностування зварних металоконструкцій, включаючи трубопроводи і резервуари. Наприклад, в останні роки виконані технічні обстеження несучих металоконструкцій пам'ятника «Мати Батьківщина», резервуарів для зберігання пального на Українській антарктичній станції «Академік Вернадський» та ін.

РІВНІ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ
ДЛЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

В.О. Троїцький, В.А. Литвиненко
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Автоматизована система візуального контролю призначена для пошуку, обробки та оцінки якості зварних з'єднань, в якій роль людини зводиться лише до визначення мети та критеріїв керування, коригування та прийняття загальних рішень, щодо керування у випадку складних ситуацій або коли умови змінюються. Подібне визначення наводиться ДСТУ 2960–94 «Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення».

Основною задачею такої системи є виявлення дефектів і класифікація їх в залежності від рівня якості зварного з'єднання що регламентують відповідні нормативні документи. Стандарт ДСТУ ISO 5817:2016 регламентує, що всі зварні з'єднання металоконструкцій, які проектується або виготовляються повинні відповідати наступним рівням якості: В (найвищий); С (середній); D (для найменш відповідальних виробів). Рівні

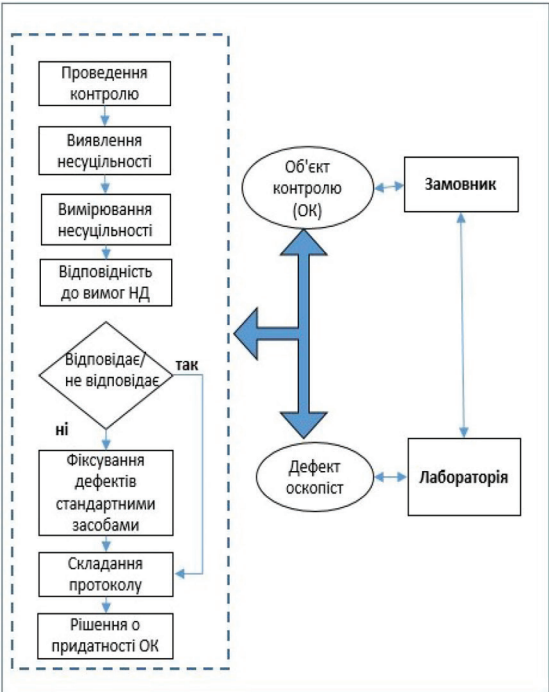


Рис. 1. Схема візуального контролю, яка виконується традиційним способом

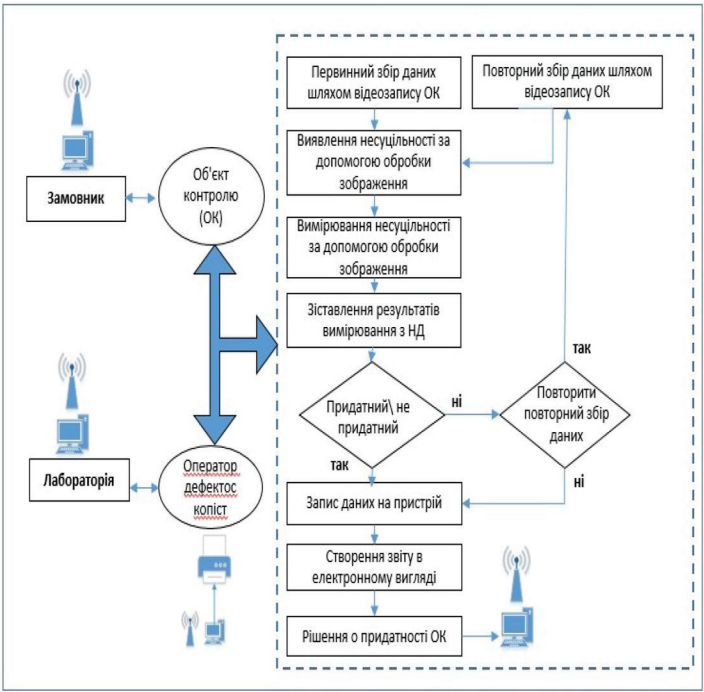


Рис. 2. Схема системи візуального контролю на основі автоматизованого оброблення інформації

якості для зварних з'єднань, одержуваних променевим та лазерним способом зварювання, представлені в стандартах ISO 13919-1:2019 та ДСТУ EN ISO 13919-2:2015.

Перевищення розмірів дефектів, зазначених категорій, потребує ремонту зварного з'єднання. Класифікація дефектів наводяться в стандарті ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 «Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням».

Вибір рівня якості повинен враховувати експлуатацію, проектування, подальшу обробку (наприклад, покриття), режим впливу навантажень (наприклад, статичний, динамічний), умови експлуатації (наприклад, температура, навколишнє середовище) і наслідки відмови. Економічні чинники повинні включати не тільки вартість зварювання, а й вартість огляду, випробувань і ремонту, які можуть бути дорожче, ніж сам процес зварювання.

На рис. 1 і 2 зображено дві системи візуального контролю. На рис. 1 зображена система, яка використовує традиційні способи, а на рис. 2 система візуального контролю на основі автоматизованих систем.



УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

В.О. Троїцький, Ю.М. Посипайко, А.Л. Шекеро

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

16 листопада 1990 року на Установчій конференції, що відбулась в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України утворене Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики (УТ НКТД) — творча громадська організація, яка об'єднує науковців, інженерів та робітників різних організацій, підприємств та лабораторій, професійна діяльність яких пов'язана з неруйнівним контролем та технічною діагностикою. Організаційну підтримку ініціативній групі надали Спілка наукових та інженерних об'єднань України та Національна Академія наук України. Установча конференція прийняла Статут Товариства, обрала правління та голову. Товариство зареєстроване в Міністерстві юстиції України як всеукраїнське громадське об'єднання.

Головною метою Товариства є консолідація зусиль науково-технічних працівників, що працюють в галузі дефектоскопії та діагностики, з метою комплексного вирішення проблем підвищення якості та надійності промислових виробів і споруд, розвитку творчої та ділової активності, обміну інформацією, розширення співробітництва та міжнародних контактів, захисту законних соціальних, економічних, творчих та інших спільних інтересів.

Активістами Товариства проведені ряд ініціативних заходів. Назвемо найвагоміші з них.

Протягом 1992–93 років було зібрано матеріали та сформовано Державну науково-технічну програму «Технічна діагностика і неруйнівний контроль». Програма включала 263 проекти, у виконанні яких мали прийняти участь біля 160 організацій і підприємств. Вона була схвалена Президією Національної Академії наук України та Державним комітетом з питань науки і технологій. На жаль, в той час уряд не зміг фінансувати таку масштабну програму. Але на її основі було створено ряд галузевих програм, а в переліку головних напрямків розвитку науки і техніки в Україні, за яким проводиться щорічне конкурсне фінансування, з'явилась тема «Діагностичне забезпечення надійної і ефективної експлуатації енерго- і ресурсоемних машин», а з 1995 року, крім того, тема «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». В 2000 році була сформована нова Національна програма розвитку неруйнівного контролю та технічної діагностики в Україні «Технічний контроль — 2000».

За ініціативи фахівців Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона виконані організаційні роботи по створенню Технічного комітету із стандартизації «Технічна діагностика і неруйнівний контроль» — ТК-78. Комітет створено наказом Державного комітету по стандартизації, метрології і сертифікації. Головою ТК-78 всі ці роки був академік Патон Б.Є. З 2021 р. головою є д.т.н., проф. Недосека А.Я. Головною метою діяльності ТК-78 є організація робіт по гармонізації національної нормативно-технічної документації в галузі технічної діагностики і неруйнівного контролю і відповідності її міжнародним стандартам, матеріалам і нормам європейських країн. За сприяння ТК-78 в Україні вже прийнято і введено в дію більше 150 національних стандартів з НК і ТД тотожних відповідним міжнародним і європейським. ТК-78 співпрацює з аналогічним комітетом Всесвітньої організації із стандартизації ISO/TC 135 «Неруйнівний контроль», приймає участь в

обговоренні проектів міжнародних стандартів з усіх методів неруйнівного контролю і голосує з питань їх прийняття.

Надзвичайно важливе значення для України має організація системи сертифікації персоналу, зайнятого в неруйнівному контролі за міжнародними процедурами. Цьому питанню УТ НКТД приділяє першочергову увагу. В 1994 році в структурі УТ НКТД був створений Національний атестаційний комітет України з неруйнівного контролю. Головним завданням комітету була організація системи сертифікації персоналу, яка відповідала б міжнародним стандартам. Були розроблені перші нормативні документи з сертифікації персоналу в нафтогазовій промисловості, авіації, для промислових об'єктів підвищеної небезпеки. Сьогодні в Україні діють шість органів сертифікації персоналу, що працює в неруйнівному контролі, а атестаційні і учбові центри є в Києві, Дніпрі, Харкові та Запоріжжі. В 2000 році правлінням товариства введено в дію стандарт СТТУ УТ НКТД 01-2000 «Система сертифікації персоналу з неруйнівного контролю. Основні положення». За ініціативи УТ НКТД і ТК-78 Держстандарт України ввів в дію, як національні, гармонізовані європейські стандарти ДСТУ EN 473:2008, а згодом — ДСТУ EN ISO 9712:2014 «Кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі НК. Основні принципи».

В 2002 р. рішенням правління при Товаристві було створено Центр сертифікації (ЦС). ЦС при УТ НКТД здійснює сертифікацію спеціалістів, що працюють в галузі неруйнівного контролю на 1, 2 і 3 рівні кваліфікації у відповідності до вимог EN ISO 9712, американською процедурою SNT-TC-1A, а також галузевим НПАОП 0.00-1.63-13.

ЦС при УТ НКТД акредитовано Національним агентством з акредитації України як незалежний орган із сертифікації персоналу в галузі неруйнівного контролю на відповідність вимогам Міжнародного стандарту ISO/IEC 17024:2012 «Оцінка відповідності — Загальні вимоги до органів, що здійснюють сертифікацію персоналу». Схема і процедури сертифікації визначені у відповідності до вимог EN ISO 9712:2012. За минулі роки у визначених ЦС при УТ НКТД учбових і екзаменаційних центрах отримали професійні знання і були атестовані багато спеціалістів України, а також з Грузії, Вірменії, Казахстану, Узбекистану, Молдови, Естонії, Польщі, Болгарії, Словенії.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона продовжує видаватись журнал «Технічна діагностика і неруйнівний контроль» (4 номери щороку), якому правління УТ НКТД приділяє багато уваги, готуючи до публікації статті, повідомлення, інформацію, рекламу та ін. Користуючись нагодою, запрошуємо всіх спеціалістів України з неруйнівного контролю стати авторами та читачами цього досить необхідного фахового журналу.

З 1998 року УТ НКТД самостійно видає інформаційний бюлетень «НК-Інформ» (4 номери щороку), який безкоштовно одержують члени Товариства.

Одним з головних напрямків роботи УТ НКТД є організація і проведення конференцій, семінарів та виставок, серед яких головною є Національна науково-технічна конференція «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». Ця подія відбувається раз на три роки і в 2019 році така конференція пройшла вже вдев'яте. Вже традиційними стали науково-технічні семінари з НК, що їх восени проводить Товариство в рамках Міжнародного виставкового форуму. Щорічну конференцію та виставку «Неруйнівний контроль» організовує Асоціація «Око». До 2013 року більше 20-ти щорічних конференцій було проведено в осінньому Криму (організатор — Український інформаційний центр «Наука. Техніка. Технологія») та в зимовому Славську, Львівської обл. (організатор — Центр «Леотест-Медіум»). Періодично конференції та семінари, де розглядаються питання неруйнівного контролю, організовують Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, НВФ «Діагностичні прилади», Міжнародна Асоціація «Зварювання», представництва провідних західноєвропейських фірм та ін.

Значну увагу правління УТ НКТД приділяє контактам та співробітництву з такими ж товариствами з інших країн. В 1995 році УТ НКТД прийнято до складу Європейського комітету з неруйнівного контролю. В 1998 році УТ НКТД став співзасновником Європейської федерації з неруйнівного контролю (EFNDT), до якої входять Товариства з неруйнівного контролю 27 країн Європи. УТ НКТД є членом Міжнародного комітету з неруйнівного контролю (ICNDT). Укладено ряд угод про співробітництво з товариствами Польщі, Чехії, Болгарії, Хорватії, Німеччини, Великобританії, Італії, Данії, США, Білорусі та ін. Делегації УТ НКТД приймали участь Європейських та Всесвітніх конференціях і виставках з неруйнівного контролю: в Копенгагені (7 ECNDT-1998), Римі (15 WCNDT-2000), Барселоні (8 ECNDT-2002), Монреалі (16 WCNDT-2004), Берліні (9 ECNDT-2006), Шанхаї (17 WCNDT-2008), Москві (10 ECNDT-2010), Дурбані (18 WCNDT-2012),

Празі (11 ECNDT-2014), Мюнхені (19 WCNDT-2016), Гетеборзі (12 ECNDT-2018). Наступна Європейська конференція відбудеться в Лісабоні в 2022 р.

В секретаріаті УТ НКТД, що працює в ІЕЗ ім. Є.О. Патона (тел.: 044-200-46-66, 044-205-22-49, e-mail: usndt@ukr.net ; www.usndt.com.ua), Ви зможете познайомитись з новинами в галузі неруйнівного контролю та технічної діагностики, програмами конференцій, семінарів та виставок, періодичними виданнями, книгами, тощо. Ви також зможете одержати консультації з питань неруйнівного контролю та технічної діагностики, обговорити шляхи вирішення конкретних питань практичного технічного контролю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДАНИХ ВИПРОБУВАНЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ З САЙТУ ЦЕНТРУ ПІДШИПНИКОВИХ ДАНИХ CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY

Г.Р. Трохим¹, Р.М. Юзефович^{1,2}, І.М. Яворський^{1,3}

¹*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,*

відділ методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів Львів

²*Національний університет «Львівська Політехніка», кафедра прикладної математики, Львів*

³*Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща*

При виявленні дефектів підшипників та класифікації їх за типом та рівнем розвитку велике значення має наявність задокументованих проявів таких дефектів у вібраційних сигналах. Такі апіорі відомі прояви дефектів потрібні як для простого емпіричного порівняння при моніторингу вібрацій, так і для виявлення відповідних статистичних параметрів таких сигналів. Дослідження проведені у відділі відбору та обробки діагностичних сигналів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України для побудови верифікуючих їх математичних моделей показали ефективність використання імовірнісної моделі вібраційних сигналів у вигляді періодично корельованих випадкових процесів [1].

Вібраційні сигнали були зібрані з підшипників електродвигуна Reliance Electric та його корпусу за допомогою акселерометрів з магнітним кріпленням на стороні приводу та на стороні вентилятора двигуна [2]. Під час деяких експериментів акселерометр кріпили і до опорної пластини двигуна. Випробувальний стенд складався з двигуна потужністю 2 к.с, давача крутного моменту, динамометра та керуючої електроніки. Точкові дефекти діаметром 0,1778, 0,3556, 0,5334, 0,7112 та 1,016 мм були нанесені на підшипники, використовуючи дугову електрозварку. На підшипники SKF наносили дефекти діаметром 0,1778, 0,3556 та 0,5334 мм, а на підшипники еквівалентні NTN — діаметром 0,7112 і 1,016 мм [3]. Дефекти діаметром від 0,1778 до 1,016 мм наносилися окремо на кульку, внутрішню та зовнішню доріжки. Пошкоджені підшипники встановлювались у двигун, а дані про вібрацію реєстрували для навантажень від 0 до 3 кінських сил (яким відповідали швидкості двигуна від 1797 до 1720 об/хв). Вібраційні сигнали записували за допомогою 16-канального DAT-рекордера та були оброблені в середовищі Matlab. Усі файли даних представлені у форматі Matlab (*.mat). Дані були відібрані з частотою 12000 Гц, та, додатково, з частотою 48000 Гц для несправностей підшипника на стороні приводу. Особливістю формату даних у файлах є позначення місця розміщення акселерометра, частоти відбору даних і швидкості обертання валу. Незважаючи на це, дані все ж потребують додаткових коментарів. Так файл 105.mat містить три реалізації вібраційного сигналу (зі сторони приводу, вентилятора та станини кріплення електродвигуна) зняті при швидкості обертання валу 1797 об/хв. Однак для повного аналізу потрібно знати зовнішню інформацію, яка задана таблицею на сайті і містить: діаметр дефекту, навантаження на валу та місце розміщення дефекту (в даному випадку на внутрішній доріжці). Для файлу 118.mat вказано, що дефект знаходиться на кульці. І так само для решти дефектів та їх комбінацій з діаметрами, навантаженнями та локалізацією. Тобто такі багатопараметрові дані володіють деякою складністю для аналітичного порівняння.

Для спрощення аналізу таких даних було розроблено користувацький інтерфейс на основі програмованих меню програмного середовища Matlab. Роботу забезпечують 38 програмних модулів, які за допомогою послідовності панелей кнопочних меню (файли ScrFil.m, ..., ScrFil*.m) забезпечують вибір сигналів із вказаними на них параметрами та звертаються до основного блоку обробки (ScrFile_Yadro.m), який виводить графік часового представлення сигналу та його спектру амплітуд.

При виведенні спектру сигналу можна відображати маркери «дефектних» частот, що розраховані за відомими формулами для вибраних дефектних елементів підшипників (GeomFreq.m, GeomMarkers.m, Markery6203.m,

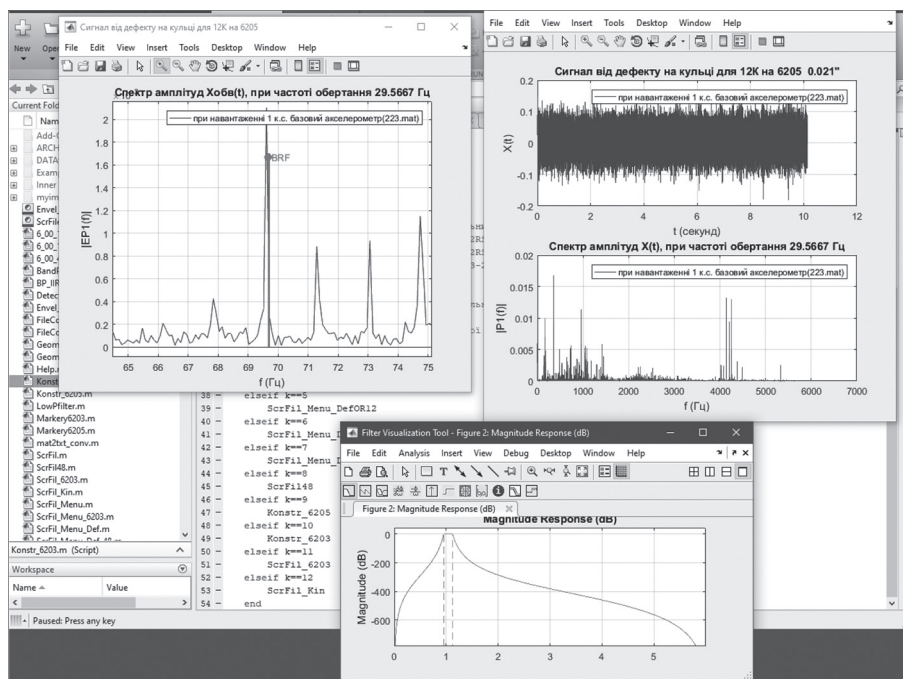


Рис. 1. Результати аналізу підшипника 6205 з дефектом кульки

Markery6205.m). Після оцінки розподілу енергії по частотному діапазону для вибраного сигналу можна здійснити смугову фільтрацію (BandPfilter.m, BP_IIR_Fil.m), детектування огинаючої (Detector.m), низькочастотну фільтрацію (LowPfilter.m) та обрахувати амплітудний спектр огинаючої (Envel_Spectr.m). Розроблені також модулі перетворення форматів даних (FileConvert.m, FileConvert_sign.m, mat2txt_conv.m) та модулі виводу конструктивних параметрів підшипників (Konstr_6203.m, Konstr_6205.m).

Впровадження всіх характеристичних параметрів умов вимірювань в структуру файлів з вібраційними сигналами від акселерометрів дало б змогу не вибирати потрібні файли за таблицями сайту (чи формувати складну систему послідовних меню), а отримувати всю інформацію безпосередньо з файлів *.mat. У приведених на сайті даних помітна часта невідповідність розрахованих частот за відомими формулами [4] з отриманими спектрами вібраційних сигналів для створених дефектів. У деяких спектрах наявні частотні максимуми характерні проявам дефектного монтажу підшипника. Сама методика частої заміни підшипників з різним типом дефекту на тому самому електродвигуні містить в собі підвищену імовірність впровадження дефектів монтажу. Схожу думку виголошують і в роботі [4], де крім того вказують на зашумленість деяких файлів даних індустріальними заводами. Попри виявлені дрібні недоліки автори хочуть висловити подяку розробникам та реалізаторам CWRU Bearing Data Center Website за представлені для використання дані вимірювань та їх ретельний описовий супровід, що дозволило відпрацювати методику та алгоритми аналізу дефектних підшипників.

1. Яворський І.М. (2013) *Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань*. Львів, ФМІ НАН України.
2. Case Western Reserve University Bearing Data Center Website. Apparatus & Procedures <https://csegroups.case.edu/bearingdata-center/pages/apparatus-procedures>.
3. Case Western Reserve University Bearing Data Center Website. Seeded Fault Test Data. Fault Specifications. <https://csegroups.case.edu/bearingdatacenter/pages/fault-specifications>.
4. Smith W.A., Randall R.B. (2015) Rolling element bearing diagnostics using the Case Western Reserve University data: A benchmark study. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 64–65, December, 100–131.

НОТАТКИ ПРО ПРИЙДЕШНЮ РЕВОЛЮЦІЮ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

В.М. Учанін

*Українське Товариство технічної діагностики та неруйнівного контролю, Київ
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів*

Четверта промислова революція «Індустрія 4.0» пришвидшує свій поступ. В розвинутих країнах вже працюють автоматизовані заводи з керуванням процесами виробництва інтелектуальними системами у реальному часі, в процесі створення – глобальна мережа речей [1, 2]. Для прискорення цього процесу діють відповідні державні програми. Україна суттєво відстає від цього загальносвітового поступу порівняно з усіма сусідами. Державна політика відсутня. Є тільки окремі приклади цих змін на рівні бізнесу [2].

Промислова революція стимулювала зміни у неруйнівному контролі (НК) і під абревіатурою NDE 4.0 (Non-destructive Evaluation 4.0) вже проголошена 4-а революція НК [3–7]. Потужні ініціативи з розвитку NDE 4.0 почало Німецьке товариство з НК (DGZfP), створивши у 2017 р. окремий комітет, в рамках якого працюють 4 підкомітети. Міжнародний комітет з НК (ICNDT) створив у 2018 р. відповідну групу, яка організувала секцію NDE 4.0 в рамках Всесвітньої конференції з НК (WCNDT) в Кореї, провела у квітні 2021 р. віртуальну конференцію з NDE 4.0 (2021.nde40.com) та планує у квітні 2022 провести міжнародну конференцію («наживо») у Мюнхені (2022.nde40.com). Робота з NDE 4.0 в Американському товаристві (ASNT) почалася у 2018 р. з доповіді на пленарній сесії річної конференції. У 2019 створено відповідний комітет, а в рамках якого працює 5 підкомітетів, які планують обмін знаннями про можливості та найкращі практики, необхідні для керування змінами; розгляд, адаптацію та схвалення стандартів з NDE 4.0; створення та затвердження навчальних програм з NDE 4.0 для узгодження з рівнями сертифікації ASNT та виявлення етичних проблем [3]. Найактивнішими піонерами у формуванні та просуванні підходів NDE 4.0 є Норберт Мейєндорф (Norbert Meyendorf), Рипудаман Сингх (Ripudaman Singh), Натан Іда (Nathan Ida) та Йоханнес Врана (Johannes Vrana), які стали редакторами першого довідника з NDE 4.0 [8].

Основна мета цієї доповіді — почати дискусію про майбутнє НК та можливу роль науковців України. Тут важливо визначити основні напрямки розвитку технологій НК на основі власного бачення, показати та популяризувати перспективні українські проекти як можливі зародки технологій NDE 4.0. Не менш важливо позбутися відчуття меншовартості (риси притаманної частині нашого суспільства) та відкрити нові горизонти для залучення в НК талановитої молоді.

Зазначимо, що на теперішній час бачення різних дослідників щодо майбутніх технологій NDE 4.0 дещо різняться. В роботі [5] автори характеризують NDE 4.0 як «Кіберфізичний НК, який виникає шляхом поєднання цифрових технологій і бізнес моделей Індустрії 4.0 та фізичних методів контролю з метою підвищення ефективності контролю, забезпечення цілісності та якості виробів, а також забезпечення даних для вдосконалення проектування, виробництва та технічного обслуговування протягом експлуатації». Очевидно, що це формулювання є дуже загальним і його явно недостатньо для розуміння напрямків розвитку НК.

Найочевидніша і очікувана тенденція розвитку НК пов'язана з впровадженням автономних автоматизованих і роботизованих систем як наслідок ефективної комп'ютеризації, використання вмонтованих процесорів. Ці процеси пов'язані з інтелектуалізацією первинних перетворювачів і засобів контролю, алгоритмів дистанційної самоперевірки метрологічних характеристик, реалізації методик НК у вигляді програмного продукту. Вже сформовано стійке розуміння, що машини в перспективі будуть виконувати рутинні процедури НК ефективніше, ніж навіть дуже кваліфікований оператор. Роботизовані системи (у тому числі з використанням дронів) забезпечать віддалений НК на небезпечних виробництвах без ризику для оператора з обміном інформацією через глобальні мережі [7, 8]. Іншим аспектом є використання ефективних складніших методів обробки діагностичних сигналів та візуалізація результатів контролю, у тому числі з використанням методів тривимірної комп'ютерної томографії. Актуальними будуть комплексні синергетичні підходи, коли аналіз стану об'єкта контролю (ОК) буде виконуватись на основі декількох взаємодоповнюючих методів НК. Для реалізації неперервного або періодичного моніторингу небезпечних ОК необхідно забезпечити пошук нових кореляцій між даними НК і критеріями механіки руйнування. Розглянемо приклади українських напрацювань у цих напрямках на прикладі близького автору вихрострумового методу НК.

Автоматизація і роботизація. Одним із напрямків розвитку технологій НК 4.0 є автоматизація контрольних операцій (у тому числі, на основі використання роботів). У цьому напрямку українські спеціалісти мають певні напрацювання. Ефективні автоматизовані системи комплексного НК розроблено в Українському ін-

ституті НК і НВФ «Промприлад», серед яких роботизована система ВК «КРАБ» для контролю труб вторинного риформінгу [9], а також автоматизовані системи комплексного контролю залізничних осей САНК-3 [10] і колісних пар СНК КП-8 [11]. Особливостями розроблених систем є використання селективних ВСП подвійного диференціювання, які забезпечують високу чутливість на відстані від поверхні ОК до 5 мм і відстроювання від впливу змін зазору, що дуже важливо для контролю в автоматизованому режимі [12].

Відзначимо систему КРАБ, яка була розроблена для виявлення та ідентифікації тріщин, розташованих на різних поверхнях труб з нержавіючої сталі. Для цієї системи був розроблений спеціальний повзаючий робот, що дозволяє керувати чотирма низькочастотними ВСП та 4-канальним пристроєм збору даних ВК. Завдяки великій глибині проникнення, розроблена система може виявити тріщини завглибшки 7,5 мм на внутрішній поверхні трубки товщиною 15 мм. Виявлені тріщини ідентифікуються за їх розташуванням (на зовнішній або внутрішній поверхні трубки) та напрямком. Система підтримує також кількісний контроль глибини виявлених тріщин (у відсотках до товщини стінки) та довжини.

Інтелектуалізація засобів НК та реалізація принципів адаптивності. Інтелектуалізація техніки (включаючи засоби вимірювання і контролю) є однією з базових тенденцій сучасного етапу її розвитку. Інтелектуалізація може розглядатися як важливий етап створення автономних автоматизованих систем НК. Використання штучного інтелекту (нейронних мереж, розмитих множин та експертних систем тощо) на етапі прийняття діагностичних рішень вже стало звичайною практикою, тому цей аспект розглядати не будемо.

Цікавішими є приклади створення адаптивних систем НК, коли вплив оператора-дефектоскопіста на етапі вибору найважливіших параметрів контролю суттєво зменшується або повністю виключається. При цьому, адаптивність засобів НК може розглядатися у двох аспектах. Перший — пов'язаний з формалізацією вибору оптимальної траєкторії сканування шляхом адаптації первинного перетворювача до поверхні ОК складної форми. Інший аспект адаптації полягає в автоматичному виборі параметрів контролю залежно від електрофізичних параметрів ОК і геометричних характеристик дефектів, які необхідно виявити.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона вже створена система ВК контролю виробів зі складною геометрією, в яких сканування здійснюється за допомогою робота [13]. Особливістю системи є використання засобів технічного зору, за допомогою яких на попередньому етапі формують модель контрольованої поверхні з метою формування сигналів керування маніпулятором робота для автоматичної реалізації оптимальної траєкторії сканування і [14].

Технічне рішення щодо адаптаційного вибору оптимальних параметрів контролю залежно від питомої електропровідності контрольованого матеріалу реалізовано у вихрострумовому структуроскопі для виявлення газонасичених шарів на поверхні титанових сплавів на підвищених робочих частотах [15]. Для цього на етапі попереднього налаштування приладу реалізовано вибір двох параметрів, які впливають на чутливість за заданої питомої електропровідності сплаву, — напруги живлення автогенератором і напруги керування різницею частот робочого і опорного контуру.

Тривимірна візуалізація результатів НК методами обчислювальної томографії. До технологій NDE 4.0 можна віднести методи тривимірної візуалізації результатів НК, побудовані на томографічних принципах. З часом найпоширеніші методи НК, які базуються на зондуванні ОК зовнішніми полями різної природи, отримують томографічні реалізації.

Вперше томографічні алгоритми були використані у рентгенівській комп'ютерній томографії (КТ) для застосування в медицині Годфрі Хаунсфилдом у 1972 році. Відомі результати з ультразвукової [16] та електричної КТ. Важливі результати з вихрострумової КТ отримано у Турецько-Українській лабораторії високих технологій науково-дослідного центру «Мармара» (Туреччина) під керівництвом О.О. Вертія [17]. Отримані експериментальні результати з тривимірної реконструкції розподілу питомої електропровідності показали, що практична реалізація підходів вихрострумової КТ дозволить піднести вихрострумовий метод НК на принципово новий рівень [18].

Розглянуті тези щодо майбутнього НК детальніше висвітлено у наведеній нижче літературі.

1. Сигида Л.О. (2018) Індустрія 4.0 та її вплив на країни світу. *Економіка і суспільство*, **17**, 58–64. doi.org/10.32782/2524-0072/2018-17-9.
2. Юрчак А. (2019) Далеко від сусідів: чому Україна пасе задніх у сфері розвитку індустрії 4.0. *Економічна правда*. <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2019/11/5/653346>.
3. Singh R. (2019) The Next Revolution in Nondestructive Testing and Evaluation: What and How? *Materials Evaluation*, **77**(1), 45–50.
4. Vrana J. (2020) NDE Perception and Emerging Reality: NDE 4.0 Value Extraction. *Ibid.*, **78**(7), 835–851.

5. Meyendorf N., Heilmann P., Bond L. (2020) NDE 4.0 in Manufacturing: Challenges and Opportunities for NDE in the 21st Century. *Ibid.*, 78(7), 794–803.
6. Тейер П. (2018) Неизбежность четвертой промышленной революции и роль НК и мониторинга. В мире неразрушающего контроля, 21(3), 5–8.
7. (2021) *Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*. Meyendorf N., Ida N., Singh R., Vrana J. (Eds). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48200-8_43-1
8. Bridge B., Sattar T., Chen S., Khalid A. (1997) On the design of multi-task, compact, climbing robotic NDT systems for remote operation on large surfaces and in hazardous environments. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 13, 85–111.
9. Uchanin V., Lutchenko G., Nikonenko A. (2006) Automated Eddy Current System for Flaw Detection and Sizing during In-service Stainless Steel Tube Inspection. *Proc. of 9th Europ. Conf. on NDT, Berlin, 2006*. www.ndt.net.
10. Uchanin V., Lutchenko G. et al. (2010) The system of automated complex testing of rail axles in their manufacture. *Proc. of 10 European Conf. on Nondestructive Testing, 2010, Moscow*. www.ndt.net.
11. Lutchenko G., Uchanin V., Mischenko V., Opanasenko A. (2012) Eddy Currents Versus Magnetic Particles. *Proc. of 18th World Conf. on Nondestructive Testing, 2012, Durban, South Africa*. www.ndt.net.
12. Учанін В.М. (2013) Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання. Львів, СПОЛОМ.
13. Долиненко В., Шаповалов Е., Скуба Т. та ін. (2017) Роботизована система неруйнівного вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією. *Автоматическая сварка*, 4–5, 60–67.
14. Куц Ю.В., Шаповалов Є.В., Учанін В.М. та ін. (2020) Спосіб адаптивного вихрострумового контролю. Україна, Пат. 140906. МПК G01N27/90. Опубл. 10.03.2020. Бюл. № 5.
15. Учанін В.Н., Владычин В.Я. (1992) Способ вихретокового контроля поверхностных слоев металлических изделий и устройство для его осуществления. А.с. 1714483 СССР. МКИ G 01 N 27/90. Заявл. 29.06.89; Опубл. 23.02.92, Бюл. № 7.
16. Koshovyy, V. V., Nazarchuk, Z. T., (2001) Estimating the Predefective State of a Material Using Methods of Ultrasonic Computerized Tomography. *Materials Science*, 37(2), 279–293.
17. (2011) *Subsurface sensing*. Turk, A.S., Hocaoglu, A.K., Vertiy, A.A. (Eds). John Wiley & Sons, Inc.
18. Вертій О.О., Учанін В.М. (2021) Тривимірна візуалізація виявлених дефектів методами вихрострумової обчислювальної томографії. *Техн. діагн. та неруйн. контроль*, 2.

ВИХРОСТРУМОВИЙ АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ ДЕФЕКТОСКОП З АВТОМАТИЧНИМ НАЛАШТУВАННЯМ НА ЗАДАНИЙ РІВЕНЬ ЧУТЛИВОСТІ

В.М. Учанін¹, О.Г. Алещенко¹, К.А. Іващенко¹, В.Я. Дереча²

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів

²ДП «АНТОНОВ», Київ

Кваліфікація і досвідченість дефектоскопіста можуть суттєво впливати на результати вихрострумового контролю (ВК), що підтверджується численними публікаціями. Зменшення цього впливу можливе на основі інтелектуалізації засобів ВК, зокрема, введенням функцій автоматичного налаштування з можливістю точного відтворення заданого рівня чутливості.

Для виявлення поверхневих дефектів успішно впроваджено автогенераторні вихрострумові дефектоскопи (ВД) типу ЛЕОТЕСТ (ВД 3.01Н; ВД 3.2Н і ВД 3.03Н), які пройшли державні випробування і включені в регламент з технічного обслуговування літаків ДП «АНТОНОВ» і двигунів ДП «ІВЧЕНКО-ПРОГРЕС» і ПАТ «МОТОР-СІЧ» [1–3]. Технічні рішення, які закладено в основу роботи цих ВД, забезпечують високу чутливість до дефектів з відлаштуванням від впливу зміни зазору та інших завад. Зокрема, було запропоновано нову схему двоконтурного автогенератора на польовому транзисторі з ізольованим затвором, який працює в режимі переривчастих коливань, коли інформаційним параметром є частота проходження пачок високочастотних коливань, що дозволило повністю заглушити вплив зміни зазору між вихрострумовим перетворювачем (ВСП) і поверхнею об'єкта контролю (ОК) (патент України № 39207). Для цього використано закритичний режим, який має місце за великих значень узагальненого параметру ($\beta > 5$), коли реальні складові внесеного імпедансу, обумовлені дефектом і зазором, мають різний знак. Крім того, запропоновано ефективну схему регенерації коливань автогенератора і схему керування частотою опорного контуру за допомогою варикапу (патенти України № 39217 і № 42132). На рис. 1 подано характеристики двоконтурної коливальної системи ВД під час розміщення ВСП у «повітрі» за найбільшого значення ємності варикапу (○)

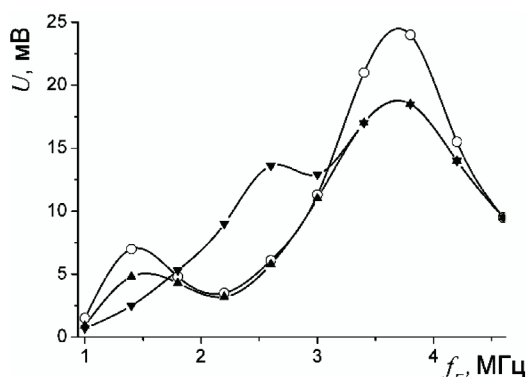


Рис. 1. Амплітудно-частотні характеристики коливальної системи автогенератора ВД

та під час розміщення ВСП на бездефектній частині ОК із алюмінієвого сплаву за найбільших ($\blacktriangledown$) і найменших значень ($\blacktriangle$) ємності варикапу. Зближення максимумів характеристики за найбільших значень ємності варикапу сприяє генерації автогенератора під час налаштування за розміщення ВСП на поверхні ОК. Відстань між максимумами визначає чутливість ВК, яка регулюється вибором ємності варикапу.

Проведений аналіз показав, що аналогова частина дефектоскопів є достатньо ефективною і може бути взята за основу вдосконаленого ВД. В той же час, практика використання ВД типу ЛЕОТЕСТ ВД 3.03Н у різних галузях промисловості показала актуальність вдосконалення автогенераторних ВД за рахунок:

- введення схеми автоматичного налаштування ВД з процесорним керуванням режимом роботи автогенератора;
- введення індикатора встановленої (або заданої методикою ВК) чутливості.

Відсутність таких можливостей в існуючих ВД суттєво зменшує достовірність і повторюваність результатів ВК, особливо за його проведенні операторами різної кваліфікації. В результаті запропоновано концепцію побудови автогенераторного ВД з автоматичним налаштуванням і додатковою індикацією чутливості (рис. 2).

Вдосконалений ВД (рис. 2) складається з наступних елементів: 1 — обмотка ВСП; 2 — двопроводовий кабель; 3 — конденсатор робочого коливального контуру; 4 — конденсатор опорного контуру; 5 — варикап; 6 — розділювальний конденсатор; 7 — активний елемент автогенератора; 8 — блок регенерації коливань; 9 — блок індикації дефекту; 10 — блок живлення; 11 — керований подільник напруги; 12 — підсилювач; 13 — цифро-аналоговий перетворювача (ЦАП); 14 — кнопка запуску процедури налаштування; 15 — процесор; 16 — індикатор чутливості. Таким чином в схему ВД додатково введено керований подільник напруги 11, який складається з ЦАП 13, кнопки запуску процедури налаштування 14 і процесора 15, та індикатор чутливості 16.

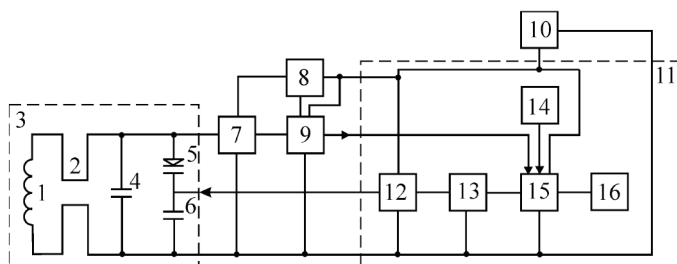


Рис. 2. Функціональна схема інтелектуалізованого автогенераторного ВД з автоматичним налаштуванням на заданий рівень чутливості



Рис. 3. Діючий макет автогенераторного ВД з «олівцевим» ВСП

Формування напруги керування на виході ЦАП 13 за допомогою варикапу 5 в робочому контурі автогенератора, здійснюється за допомогою процесора 15, який запускається натисканням кнопки запуску процедури налаштування 14. Індикатор чутливості 16 показує різницю між напругою спрацювання індикатора дефекту 9 під час реалізації процедури налаштування і напругою на виході ЦАП 13 по закінченні процесу налаштування, яка визначає чутливість до дефектів. Діючий макет розробленого ВД подано на рис. 3.

Розроблений ВД забезпечує можливість точного відтворення рівня чутливості, який прописано в методиці контролю, незалежно від кваліфікації оператора.

1. Учанин В.Н., Дереча В.Я. (2006) Вихретоковый метод выявления поверхностных дефектов узлов авиационной техники в условиях эксплуатации. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 20–28.
2. Учанин В.Н., Александров С.А., Цыганов В.Ю. (2009) Вихретоковая дефектоскопия деталей авиационных двигателей в условиях эксплуатации и ремонта. *Вісник двигунобудування*, 2, 151–155.
3. Онищак Я.Д., Учанин В.М., Кухта І.Я. (2012) Проблемы эксплуатационного контролю элементов паровых турбин тепловых электростанций. *Зб. доп. 17 Міжнар. наук.-техн. конф. «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів — «ЛЕОТЕСТ-2012»*, м. Славське, 35–38.

МАГНІТОПРУЖНІ ДАВАЧІ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ І КРУТНОГО МОМЕНТУ ОБЕРТАЛЬНИХ ВУЗЛІВ

В.М. Учанин¹, С.М. Мінаков², А.С. Мінаков², К.А. Іващенко¹

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Львів

²НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ

Безконтактний моніторинг технічного стану силових елементів обертальних вузлів під час роботи є важливим фактором їх безпечної експлуатації. Під дією крутного моменту в матеріалі обертальних валів виникають деформації зсуву і відповідні механічні напруження (МН) кручення. Відомо, що у поперечних січеннях валу під час кручення утворюються дотичні МН зсуву, напрямом яких у кожній точці є перпендикулярний радіусу, що з'єднує цю точку з центральною точкою січення. Це має місце тільки за спрощеного розгляду, коли приймається, що вал навантажений тільки крутним моментом (КМ), нехтуючи згинаючим моментом. Розподіл дотичних МН в радіальному напрямку поперечного перерізу круглого валу має лінійний характер (рис. 1). При цьому найбільшого значення МН мають місце у поверхневих шарах, а з наближенням до осі валу МН зменшуються до нуля. Тому для зменшення маси і металоемності доцільно використовувати вали кільцевого перерізу. Зв'язок між дотичними МН τ і КМ M визначається виразом $\tau = M/W_p$, де: W_p — полярний момент опору поперечного січення валу, який для конкретного валу є постійною величиною. Зазначимо, що визначення МН необхідно для оцінювання надійності обертальних механізмів з використанням підходів опору матеріалів і механіки руйнування, а визначення КМ обертальних валів і механізмів важливе, зокрема, для визначення ефективності їх роботи. Визначення МН і КМ в стаціонарних умовах не викликає суттєвих проблем. Складнішим завданням є неперервний моніторинг з визначенням цих параметрів безпосередньо під час обертальної роботи валів і вузлів. Важливість такого моніторингу суттєво зростає в умовах динамічних нестационарних навантажень випадкового або імпульсного характеру через можливість запобігання перевантаженням та реєстрації напруцювання обертальних елементів в часі. Одним із відомих методів визначення МН і КМ є використання тензометричного моста, коли на вал наклеюють тензометри опору [1].

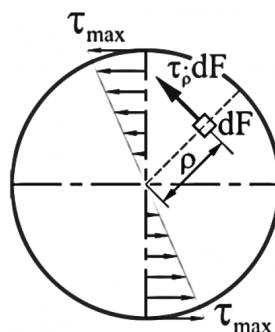


Рис. 1. Розподіл дотичних механічних напружень в перерізі суцільного валу

При цьому існує проблема передавання інформаційних сигналів з обертального валу, для чого використовують, зокрема, цифрові радіоканали. Існують і інші методи, які вимагають введення вимірювальних давачів в якості елемента валу або розміщення їх на ньому.

Методи, побудовані на використанні магнітопружного ефекту (зворотний магніострикційний ефект, ефект Віларі), мають суттєві переваги через можливість визначення цих параметрів без контакту з обертальним валом або втручання в його конструкцію. Під час реалізації магнітопружного методу, зазвичай, для збудження первинної обмотки використовують змінний струм. Це дозволяє формально віднести цей метод до вихрострумових (ВС) методів НК, хоча історично МП і ВС методи розроблялися паралельно різними дослідниками і практично не перетинались. Перші конструкції магнітопружних первинних перетворювачів (МПП) для визначення КМ були запропоновані ще у 50-х роках 20-го століття. Очевидно, що поданий вище характер змін напруженого стану під час скручування валу визначає схему побудови МПП, які можна поділити на кільцеві і приставні. Серед найперших МПП кільцевого типу зазначимо, зокрема, патенти США № 2895331 (1959 р.), № 3011340 (1961 р.) і № 3046781 (1962 р.), а також авторські свідоцтва СРСР № 148932 (1962 р.) і № 237425 (1969 р.). Такі МПП передбачають розміщення їх попередньо на етапі монтажу обертальних механізмів. Гнучкішими і універсальнішими є приставні МПП. Тут ще у 60-ті роки 20-го століття використовували трансформаторний МПП із двох П-подібних осердь, одне із яких має обмотку збудження, а інше - вимірювальну обмотку. Одне осердя встановлюють вздовж осі валу, а інше орієнтовано під кутом 90°. Такий МПП є ідентичним відомому давачу магнітної анізотропії Ю.Я. Мехонцева за авторським свідоцтвом СРСР № 111331, який широко використовувався (у тому числі, нами) для визначення напружень феромагнітних конструкцій, зокрема в зоні зварних швів [2,3]. В поданих МПП використано осердя з шихтованої електротехнічної сталі, що через великі витрати на високих частотах суттєво обмежує діапазон робочих частот, верхня границя якого не перевищує 2 кГц.

Нами розроблено нові вихрострумові перетворювачі магнітної анізотропії (ВСПМА) з феритовими осердями, які дозволяють розширити діапазон частот щонайменше до 50 кГц [4,5]. Ці перетворювачі складаються з двох обмоток збудження і двох вимірювальних обмоток, які намотано на циліндричних феритових осердях і розміщено по кутах квадрату. Розроблено низку вихрострумових перетворювачів з загальним діаметром від 10 до 25 мм, що суттєво для контролю валів невеликого діаметру, так як дозволяє локалізувати вимірювання магнітної анізотропії матеріалу таких валів. Для дослідження впливу стаціонарних деформацій і МН кручення на сигнал ВСПМА розроблено оригінальний дослідницький стенд. Сигнали ВСПМА досліджували в комплексній площині вихрострумового дефектоскопа типу ВД 3-81 (НВФ «Промприлад, Київ»). Проведені дослідження підтвердили можливість їх використання для визначення МН і КМ валів.

Для подальших досліджень розробляється відповідний стенд для динамічних досліджень крутного моменту валів під час їх обертання. Поставлено задачу створити стенд для дослідження обертальних валів за складного навантаження, коли деформації кручення супроводжуються деформаціями (і відповідними МН) згину.

1. Гапонов В.Л., Гуринов А.С., Дудник В.В. (2012) Измерение крутящего момента на вращающихся валах. *Вестник ДГТУ*, 62(1), вып. 2, 25–32.
2. Фомичев С.К., Минаков С.Н., Михалко С.В. и др. (2009) Определение силовых воздействий на трубопровод по анализу эпюр распределения продольных напряжений. *Техн. диагн. и неразруш. контроль*, 2, 11–14.
3. Мінаков С.М., Учанін В.М. (2020) Моніторинг напруженого стану мостової пролітної споруди під час монтажу методом насування. *Там саме*, 4, 40–44.
4. Uchanin V., Minakov S., Nardoni G. et al. (2018) Nondestructive Determination of Stresses in Steel Components by Eddy Current Method. *Journal of Mechanical Engineering*, 64(11), 690–697.
5. Учанін В.М., Мінаков С.М. (2018) Вплив механічних напружень на сигнал вихрострумового перетворювача магнітної анізотропії. *Техн. діагн. та неруйн. контроль*, 1, 21–25.

МОНІТОРИНГ ПОТОЧНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ЛМ-ТВЕРДОСТІ

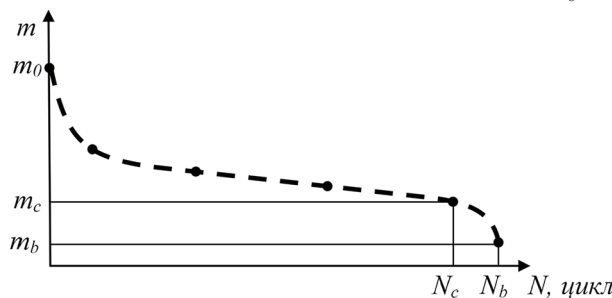
В.П. Швець, П.О. Булах, О.М. Масло

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ

Елементи конструкцій відповідального обладнання та обладнання підвищеної небезпеки при експлуатації сприймають складний комплекс механічних, температурних й інших видів зовнішніх і внутрішніх впливів, що призводить до далеко ще не повністю вивчених процесів, що протікають в конструкційних матеріалах на різних масштабних рівнях. На сьогоднішній день наряду з неруйнівними методами визначення дефектів матеріалу конструкцій актуальними в науковому та практичному планах є задачі, пов'язані з розробкою нових, адаптацією існуючих методів досліджень процесу накопичення пошкоджень в металах при активній експлуатації конструкцій, вибором необхідних параметрів, що характеризують ступінь деградації цих матеріалів, створенням відповідних алгоритмів для розрахунків несівної спроможності конструктивних елементів із врахуванням поточної пошкоджуваності матеріалів.

В даній роботі наведено результати досліджень з апробації застосування неруйнівного методу ЛМ-твердості для оцінки деградації матеріалу натурних елементів конструкцій із сталей 20 та 12Х18Н10Т, що працюють при довготривалому статичному та малоциклового навантаженнях.

Визначення коефіцієнта гомогенності m проводиться перед початком випробувань (m_0), та після напрацювання певної кількості циклів, що відповідають попередньо встановленим значенням пластичної деформації ϵ_p . Після досягнення межі втрати стійкості пластичного деформування визначається критичне значення параметра гомогенності m_c . Подальше навантаження проводиться до руйнування зразка, після чого визначається параметр гомогенності в зоні концентрації пластичних деформацій m_b .



Зміна параметра гомогенності m при циклічному напрацюванні

Отримані дані про характер накопичення розсіяних пошкоджень в зразках із сталі 12Х18Н10Т, що оцінюються за коефіцієнтом гомогенності матеріалу m , дозволяє говорити про достатню достовірність методу ЛМ-твердості в умовах малоциклового навантаження, а також про виражену стадійність деградації структури конструкційного матеріалу. Твердість матеріалу незначним чином чутлива до напрацювання циклічного навантаження N та помітно чутлива до підвищення максимальних напружень в циклі $\sigma_{\max}$. Коефіцієнт гомогенності m значно зменшується при досягненні граничного значення числа циклів у порівнянні з непошкодженим матеріалом.

Крім визначення поточної пошкоджуваності матеріалу метод ЛМ-твердості може застосовуватись для оцінки накопичених граничних пошкоджень.

Дослідження накопичення пошкоджень при статичному деформуванні проводили для сталі 20 як в початковому стані так і для матеріалу з попереднім тривалим напрацюванням 200 тис. годин. При проведенні даних досліджень реалізовувалася програма, що передбачала пластичну деформацію зразків одночасним розтягом і випробувань на твердість у робочій частині зразка (у зоні рівномірної деформації) в початковому стані і після того, як матеріал зазнав руйнування.

Середні значення твердості і коефіцієнтів гомогенності для матеріалу відповідно склали: для початкового стану $HB \approx 143$, $m \approx 49,5$; для матеріалу з напрацюванням $HB \approx 156$ і $m \approx 39,5$. З попередніх даних видно, що твердість матеріалу початкового стану несуттєво нижче ніж з напрацюванням, у той же час матеріал в початковому стані більш однорідний, про що свідчать вищі значення коефіцієнтів гомогенності m .

Для дослідження однорідності структури матеріалу в граничному стані зразки були доведені до руйнування. Після чого в зоні рівномірної пластичної деформації проводили масові вимірювання твердості та визначали

параметри пошкоджуваності матеріалу. У всіх випадках твердість матеріалу при граничному стані деформації знаходиться на одному рівні, в той час як коефіцієнти гомогенності m зменшуються майже в два рази, при чому для матеріалу як початкового стану, так із напрацюванням. Незважаючи на деякий розкид значень коефіцієнта гомогенності m , що має місце в експерименті, який, мабуть, може бути пояснений неоднорідністю хімічного складу або структури матеріалу зразків, можна констатувати задовільну відтворюваність отриманих даних.

Експериментальні дані дозволяють встановити кінетику накопичення пошкодження в металі, оцінити поточний стан в залежності від напрацювання і визначити залишковий ресурс. В якості характеристики граничного значення напрацювання для досліджуваного матеріалу можуть бути прийняті коефіцієнти гомогенності, які відповідають максимальному граничному значенню напрацювання, тобто руйнування зразків.

Отримані експериментальні дані показують можливість ефективного застосування методу ЛМ-твердості при оцінці поточного стану матеріалів елементів конструкцій, що знаходяться в умовах тривалого навантаження, а також з можливістю прогнозування їх залишкового ресурсу при використанні залежності граничних значень коефіцієнтів гомогенності від діючих напружень при робочій температурі, в тому числі під час експлуатації виробу. Проведені дослідження показали ефективність використання методу ЛМ-твердості для проведення оцінки технічного стану металу в процесі його експлуатації. Метод ЛМ-твердості може бути застосований безпосередньо на діагностованих елементах конструкцій та промислового обладнання, при цьому суттєво не впливаючи на стан поверхні.

1. Лебедев А.А., Чаусов Н.Г. (2004) *Новые методы оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки*. Киев.
2. (2016) ДСТУ 7793–15:2016. *Матеріали металеві. Визначення рівня розсіяних пошкоджень методом ЛМ-твердості*. Київ, ДП «Укр. НДНЦ».
3. Ламашевський В.П., Тітов В.А., Швець В.П., Злочевська Н.К. (2019) Експрес-метод оцінки якості напівфабрикатів металевих матеріалів. *Зб. доп. 10 Міжнар. наук.-техн. конф. «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти»*, 3–7 червня 2019 р., м. Київ – м. Херсон, 72–75.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ В СФЕРІ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В УКРАЇНІ

С.О. Щупак

ТК №78 «Технічна діагностика та неруйнівний контроль»
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Стандартизація — діяльність, спрямована на розроблення та встановлення вимог, норм, правил, характеристик як обов'язкових, так і рекомендованих, що забезпечують право споживача на придбання товарів і послуг належної якості. Сертифікація — визнаний у світі спосіб незалежної оцінки відповідності продукції, процесів і послуг встановленим вимогам. Таким чином стандартизація та сертифікація як процедура оцінки відповідності тісно пов'язані між собою. Остання може проводитись лише за наявності нормативних документів, на відповідність якому оцінюється продукція, процес чи послуга. Особливого значення ці два види діяльності набули з 27 червня 2014 року, коли Україна підписала Угоду про асоціацію з Європейським Союзом, яка передбачає створення Поглибленої та Всеосяжної Зони Вільної Торгівлі. Для досягнення цієї мети наша країна повинна виконати взяті на себе зобов'язання щодо зменшення перепон для торгівлі, що виникають у зв'язку із різницею в технічних регламентах України та ЄС, стандартів, процедур оцінки відповідності та інших вимог до якості продукції. Ці зобов'язання, зокрема, охоплюють цілу низку заходів, спрямованих на поступове забезпечення відповідності технічним регламентам ЄС, усунення розбіжностей між системами стандартизації та оцінки відповідності.

Питаннями гармонізації стандартів у сфері неруйнівного контролю та технічної діагностики в Україні опікується Технічний комітет №78 «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» (ТК-78), секретаріат якого веде ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України (голова ТК-78 — акад. Патон Б.Є., заст. голови — проф. Троїцький В.О. та проф. Недосека А.Я.). Наразі до складу ТК-78 входять 29 колективних та індивідуальних членів, які представляють інтереси науково-дослідних та наукових інститутів, промислових підприємств, випробувальних лабораторій, вищих учбових закладів, громадських об'єднань.

Після прийняття нового Закону «Про стандартизацію», який набув чинності 3 січня 2015 року, в рамках виконання Угоди про Асоціацію зусиллями ТК-78 в Україні введено в дію біля 200 стандартів у галузі неруйнівного контролю. Особливу увагу ТК-78 та УТ НКТД приділяють стандартизації у сфері кваліфікації та сертифікації персоналу НК, оскільки ефективність будь-якого застосування неруйнівного контролю залежить від знань, умінь та досвіду осіб, що виконують і несуть відповідальність за проведення контролю. Упродовж останніх трьох років в Україні прийняті усі чинні міжнародні та європейські стандарти, що встановлюють вимоги до підготовки, атестації та підтвердження кваліфікації персоналу НК, а також вимоги до організацій, які надають такі послуги:

- ДСТУ EN ISO 9712:2014 Неруйнівний контроль. Кваліфікація і сертифікація персоналу неруйнівного контролю (EN ISO 9712:2012, IDT, ISO 9712:2012, IDT);
- ДСТУ CEN ISO/TR 25107:2015 Неруйнівний контроль. Настанови щодо програм навчання методам неруйнівного контролю (CEN ISO/TR 25107:2006, IDT; ISO/TR 25107:2006, IDT);
- ДСТУ CEN ISO/TS 25108:2019 Неруйнівний контроль. Організації з навчання персоналу в сфері проведення робіт з неруйнівного контролю (CEN ISO/TS 25108:2018, IDT; ISO/TS 25108:2018, IDT).

На разі ISO/EC 138 готує до публікації остаточний проект нової редакції стандарту ISO 9712, який суттєво відрізнятиметься від чинної версії. Восени минулого року на заміну ISO/TR 25107:2006 був прийнятий документ ISO/TS 25107:2019 «Неруйнівний контроль. Настанови щодо програм навчання методам неруйнівного контролю», який ще не введений в Україні.

Інформацію щодо нових стандартів в галузі НК, які приймаються в Україні, можна знайти на сайті Національного органу стандартизації — ДП «Український науково-дослідний та навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації і якості»: www.ukrndnc.org.ua.

СИСТЕМА ВІДБОРУ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ОБЕРТОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Р.М. Юзефович^{1,2}, І.Г. Стецько¹, І.М. Яворський^{1,3}, О.В. Личак¹

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
відділ методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів Львів

²Національний університет «Львівська Політехніка», кафедра прикладної математики, Львів

³Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

Представлено багатоканальну портативну систему для відбору та обробки вібраційних сигналів (далі – Система) з метою виявлення і попередження аварійних ситуацій на механізмах з обертовим або обертово-поступальним рухом. Давачами вібраційного сигналу є п'єзокерамічні акселерометри промислового типу. Диференційна схема відбору вібраційного сигналу з компенсацією постійної складової дозволяє послабити синфазну складову вібраційного сигналу (сигнали промислових завод та інших працюючих приладів та механізмів). Регулятор підсилення дає змогу нормувати вібраційний сигнал. Додаткові інтегратори дозволяють перетворювати пропорційно сигнал прискорення в сигнал віброшвидкості чи вібропереміщення. Інтегровані фільтри нижніх та високих частот задають робочий частотний діапазон в області низьких та високих частот, ефективно придушують шум та інші завади. Центральні частоти смугових фільтрів вибрані з інтервалом в 1 октаву чи 1/3 октави згідно рекомендацій стандартів МЕК-1 та ISO266. Використання смугових фільтрів з перестроюваними центральними частотами та нестаціонарних методів аналізу вібраційних сигналів в певних смугах дозволяє виявити діагностичні ознаки, що характерні для різних типів дефектів. Інтегрований антиалайзинговий фільтр застосований для забезпечення мінімальних спотворень спектральних характеристик вібраційного сигналу при оцифровці. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) є 12-ти розрядним з мультиплексуванням вхідних каналів, а також містить порти вводу-виводу дискретних сигналів, 16-ти розрядний лічильник і цифро-аналоговий перетворювач. АЦП може працювати з 4-ма диференційними каналами або 8-ма каналами з загальною землею. Кожен з аналогових каналів підключається до АЦП через програмно керований підсилювач, який дозволяє задавати діапазони вимірювання напруги.

Чутливість перетворювача заряду, тип фільтрів, їх частотні характеристики, добротність, величина вхідної напруги, час запису вібраційного сигналу та інші робочі параметри задаються програмно з портативного комп'ютера (ПК) за допомогою прикладного програмного забезпечення (ППЗ). ППЗ призначене для керу-

вання Системою, запису оцифрованих сигналів на диск ПК, візуального перегляду отриманих даних, обробки вібраційних сигналів та генерування графічно-текстових звітів. Основні функції ППЗ: розпізнавання під'єднання та тестування Системи; збір даних з вхідних каналів Системи через USB-порт та запис їх на диск ПК; відображення сигналу з вибраного каналу реєстрації; обчислення середньо-квадратичних значень віброшвидкості або віброприскорення для кожного з каналів у режимі реального часу; обчислення кореляційної функції та спектральної густини потужності вібраційних сигналів.

Сигнальні кабелі, довжина яких становить 10 м, поміщені в металорукави для запобігання можливих пошкоджень та додаткового екранування від електромагнітних завад. Живлення Системи неруйнівного контролю здійснюється від шини USB портативного комп'ютера. Габаритні розміри Системи 160×150×35 мм, а маса Системи 0,75 кг.

ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ ВІБРОДІАГНОСТИКИ

Р.М. Юзефович^{1,2}, І.М. Яворський^{1,3}, П.О. Семенов⁴, О.В. Личак¹, І.Г. Стецько

¹Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,

відділ методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів Львів

²Національний університет «Львівська Політехніка», кафедра прикладної математики, Львів

³Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

⁴Одеський національний морський університет, кафедра підйомно-транспортних машин та інжинірингу портового технологічного обладнання, Одеса

Сучасні методи вібродіагностики розглядають аналіз в часовій та частотній областях. Існуючі методи діагностування за параметрами часового сигналу (за середньоквадратичним значенням віброшвидкості чи віброприскорення, за моментом четвертого порядку — ексцесом, за ПІК-фактором) мають малу завадостійкість та ефективні для виявлення розвинутих дефектів. Методи спектрального аналізу (за широкосмуговим спектром, за прямим спектром, за спектром огиначаючої) демонструють кращу чутливість при виявленні дефектів, однак вимагають наявності потужних апаратних і програмних засобів.

На практиці об'єкти діагностики розглядають як з точки зору структури, так з точки зору способу функціонування [1]. При структурному підході звертають увагу на розміри і форму деталей, на зазори в кінематичних парах та інші властивості елементів об'єкта, що забезпечують його нормальну роботу, а основним завданням діагностики є встановлення стану досліджуваного об'єкта. Технічний стан визначається сукупністю технічних параметрів, що характеризують можливе відхилення функціонування об'єкта від нормального, що може призвести до відмови.

При функціональному підході об'єкт розглядають як єдину систему, що породжує різні процеси, які характеризуються відповідними параметрами, пов'язаними з сукупністю діагностичних ознак виділених з вібросигналів. Розвиток технічної діагностики та вібродіагностики в загальному випадку обумовлений великою кількістю структурних параметрів та діагностичних ознак. Практичне вирішення прикладних задач діагностики при цьому полягає в знаходженні таких діагностичних ознак, які однозначно зв'язані з відповідними структурними параметрами, що визначають основні причини деградації стану об'єкта. На практиці стан об'єкта описується зазвичай не одним, а сукупністю параметрів, тому при обробці вібраційних сигналів для однозначного діагностування доводиться використовувати велику кількість різноманітних методів обробки. Однак, діагностування можна побудувати на іншому принципі. Реєструємо тільки один вібраційний сигнал вибраний відповідно до структури досліджуваного об'єкта і використовуємо для його аналізу такий спосіб обробки, за якого можна видобути всю необхідну діагностичну інформацію.

Тому ефективними сучасними засобами вібродіагностики є такі інформаційно-вимірювальні комплекси, які поєднують у собі набір різноманітних первинних перетворювачів, обладнаних бездротовими каналами передачі інформації з можливістю поєднання в локальну цифрову мережу передачі даних. Такі комплекси використовують функції зберігання зареєстрованих вібраційних сигналів, та систему багатоканального збору інформації з можливостями апаратної попередньої обробки вхідних сигналів та комп'ютерним програмним забезпеченням повноцінної сигнальної обробки для формуванням діагностичних висновків.

1. Яворський І.М. (2013) *Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань*. Назарчук З.Т. (ред.). Львів, ФМІ НАНУ.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ КАЛОРІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПАЛИВА

В.П. Бабак, Л.Й. Воробйов, Р.В. Сергієнко

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Актуальність. Провідні світові фірми виготовляють широкий спектр приладів для вимірювання теплоти згорання — калориметрів, для яких характерні високий рівень автоматизації підготовки проби і висока точність вимірювань. В Інституті технічної теплофізики НАН України розробляють, виготовляють та обслуговують ізопериболічні калориметри серії КТС, принцип роботи яких ґрунтується на базі термоелектричних перетворювачів теплового потоку [1].

Метою дослідження є розробка моделі приладу, що відображає термічну неоднорідність комірок калориметричної системи та дослідження впливу параметрів і особливостей конструкції калориметра на її характеристики.

Аналітичний розв’язок нестационарної задачі теплопровідності для моделі теплового блоку квазідиференціального кондуктивного бомбового калориметра, яку побудовано за принципом електротеплової аналогії [2], де основні елементи конструкції представлено у вигляді тіл із зосередженими параметрами, отримати практично неможливо. Але представлена модель складається переважно з двох типів конструктивних елементів, одні з яких мають високий опір і незначну теплоємність, інші малий термічний опір і високу теплоємність. Таку систему можна змоделювати як систему з зосередженими параметрами.

Розрахунок теплових потоків і температур в робочому режимі виконаний за електротепловою схемою заміщення методом контурних струмів із застосуванням операційного обчислення в області зображень за Лапласом (оператор s).

Аналітичне дослідження системи рівнянь для контурних струмів та системи рівнянь відносно теплового потоку є достатньо складним, оскільки характеристичне рівняння системи має 10-й порядок. Для їх розв’язку необхідно використання програмних пакетів для розрахунку процесів в електричних колах. З використанням програмного пакету «Місго-Сур» проведено моделювання динаміки теплових процесів в калориметрі, зокрема досліджено вплив конструктивних параметрів та низки режимних факторів на динамічні характеристики приладу та складові похибки вимірювання.

Висновок. За результатами моделювання отримано оцінки режимних параметрів та характеристик: за номінальних значень параметрів конструкції калориметру, максимальний тепловий потік крізь перетворювач сягає 50 Вт при енергії згорання проби 8 кДж та 220 Вт при енергії згорання проби 35 кДж, максимально можлива різниця температури між калориметричною коміркою та корпусом під час вимірювань — 12 К. Проведені експериментальні дослідження теплоти згорання різних видів палива та верифікація отриманих даних показали надійність і точність вимірювання на рівні світових аналогів.

1. Воробйов Л.Й., Сергієнко Р.В., Бурова З.А., Назаренко О.О. (2017) Моделювання теплових процесів у квазідиференціальному калориметрі. *Промислова теплотехніка*, **4**, 77–83 [in Ukrainian].
2. Zaporozhets, A., Eremenko, V., Serhiienko, R., Ivanov, S. (2019) Methods and Hardware for Diagnosing Thermal Power Equipment Based on Smart Grid Technology. *Advances in Intelligent Systems and Computing III*, **871**, 476–492. doi: 10.1007/978-3-030-01069-0_34.

ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ТА МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МАЛОАПЕРТУРНИХ МАГНІОСТРИКЦІЙНИХ СЕНСОРІВ

І.В. Богачев

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ

Робота присвячена вивченню і застосуванню малоапертурних магніострикційних перетворювачів в якості сенсорів і випромінювачів в приладах ультразвукового контролю для виявлення поверхневих тріщин та інших дефектів.

Малоапертурні сенсори збуджують в зразку, що контролюється, поверхневі хвилі на відміну від направлених перетворювачів, яким для цього необхідні спеціальні призми для введення ультразвукового коливання під певним кутом. Зі збільшенням глибини проникнення інтенсивність хвилі Релея різко зменшується [1]. Ця обставина дозволяє використовувати хвилі Релея для пошуку поверхневих дефектів. Загасання хвилі Релея уздовж вільної поверхні визначається загасанням об'ємних хвиль, тому хвилі Релея можуть поширюватися на великі відстані, зокрема, і вздовж кривих поверхонь, якщо радіус кривизни значно перевищує довжину хвилі, інакше відбувається її відбиття. За часом проходження поверхневою хвилею відстані між випромінюючим і приймальним перетворювачами можна визначити значення швидкості розповсюдження поверхневої хвилі в контрольованому зразку.

Найбільш ефективними в якості малоапертурних перетворювачів є одношарові котушки збудження, розташовані безпосередньо на магніострикційному стрижні [2]. В наслідок того, що котушка збудження на металевому стрижні є електромагнітною антеною, вона приймає різноманітні сигнали завад, які спотворюють корисний сигнал перетворювача. Якщо котушки збудження робити двосекційними, при чому секції таких котушок намотані в протилежних напрямках і розташовані на відстані, що дорівнює половині довжини ультразвукової хвилі в стрижні, то спотворення корисного сигналу електромагнітними завадами можна звести практично нанівець. В цьому випадку радіоімпульсний електричний сигнал на котушці приймаючого перетворювача буде подовжено на один півперіод, а амплітуда сигналу з другого по передостанній півперіоди буде мати подвійне значення [3]. При виготовленні випромінюючого перетворювача теж двосекційним радіоімпульсний сигнал на котушці приймаючого перетворювача буде подовжено на два півперіоди, а амплітуда сигналу з третього по передпередостанній півперіоди буде мати значення в чотири рази більше, ніж при односекційних котушках.

Зазвичай для визначення розмірів і розташування дефектів вимірюють значення часової затримки та амплітуди корисного сигналу на приймаючому перетворювачі в різних точках об'єкту, що контролюється. Є наукові праці, в яких доведено, що значно зменшити (в 30...50 разів) похибку при вимірюванні часу затримки можна при використанні вимірювання фазового зсуву коливання, що заповнює радіоімпульс, з подальшим перерахунком його в час затримки. В системах ультразвукового контролю, що мають в своєму складі малоапертурні магніострикційні перетворювачі доцільно використовувати швидкісні двоканальні аналого-цифрові перетворювачі (USB — осцилографи), наприклад VDS3102 з частотою дискретизації 100 МГц. Перший канал такого пристрою використовується для запису сигналу, що випромінюється, а другий — для запису миттєвих значень сигналу на приймаючому перетворювачі. Вимірювання амплітуди і фазового зсуву корисного сигналу доцільно проводити в межах третього або четвертого півперіодів прийнятого сигналу. В цьому часовому проміжку співвідношення сигнал — завада має найбільше значення. Для збудження випромінюючого перетворювача доцільно використовувати радіоімпульсний сигнал з двома періодами заповнюючого коливання. Збільшення кількості періодів імпульса, що випромінюється, призводить до зменшення поздовжньої розрізняльної здатності системи ультразвукового контролю, а зменшення до одного періода заповнюючого коливання — призводить до збільшення похибки вимірювання і в наслідок цього до зменшення вірогідності контролю.

Можна виділити наступні переваги малоапертурних магніострикційних перетворювачів [3]. У таких сенсорів площа випромінюючої поверхні ($0,07...0,8 \text{ мм}^2$), що в десятки разів менше, ніж у п'єзоелектричних, це дозволяє збільшити розрізняльну здатність сенсорів і систем УЗ контролю в цілому. Акустичний контакт магніострикційних перетворювачів з об'єктом контролю може забезпечуватися як із застосуванням контактної рідини, так і без неї (так званий «сухий» контакт). Кращі параметри і характеристики магні-

тостриктичних перетворювачів досягаються при використанні одношарових котушок збудження з малою кількістю витків. Для підвищення ефективності сенсорів доцільно використовувати багатосекційні котушки збудження. Точка Кюрі для більшості магнітостриктичних матеріалів знаходиться в межах 600...1200 °С, що значно перевищує температуру Кюрі для п'єзоелектричних перетворювачів. Ця особливість дозволяє використовувати магнітостриктичні перетворювачі для контролю теплоенергетичного обладнання та об'єктів, що працюють при підвищених температурах.

Висновки. Малоапертурні магнітостриктичні перетворювачі мають малу площу поверхні, що випромінює, що дозволяє отримати діаграму напрямленості практично кругової форми для поверхневих хвиль.

Поверхневі хвилі мають малу глибину проникнення, що зручно для виявлення поверхневих тріщин.

Акустичний контакт магнітостриктичних перетворювачів з об'єктом контролю може забезпечуватися без застосування спеціальних контактних рідин. При використанні контактної рідини амплітуда сигналу, що приймається, збільшується в 2...3 рази, що корисно при контролі великих деталей.

При відомій відстані між випромінювачем і приймачем ультразвукових коливань (при розташуванні двох та більше перетворювачів в одному корпусі [4]) можна визначити швидкість поширення ультразвукової хвилі в контрольованому зразку, що в подальшому можна використовувати для обчислення розмірів тріщини і її розташування.

1. Цапенко В.К., Куц Ю.В. (2010) *Основи ультразвукового неруйнівного контролю*: Підручник. Ктїв, НТУУ «КПІ».
2. Бабак В.П., Богачев І.В. (2014) *Ультразвуковий малоапертурний магнітостриктичний перетворювач*. Україна Пат. 104567. Заявник і власник патенту ІТТФ НАН України. № а201306020; заявл. 15.05.2013. Бюл. № 3.
3. Бабак В.П., Бабак С.В., Берегун В.С. та ін. (2015) *Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики*: Монографія. Бабак В.П. (ред.). Київ.
4. Бабак В.П., Богачев І.В. (2015) *Матриця малоапертурних магнітостриктичних перетворювачів*. Україна, Пат. 107629. Заявник і власник патенту ІТТФ НАН України. № а201312825; заявл. Бюл. № 2.

КВАЗІРУЙНІВНИЙ МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

Є.О. Буйнова, В.Л. Гохфельд, М.В. Юрженко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Сучасна практика будівництва полімерних трубопроводів обов'язково включає неруйнівні візуальні методи оцінки якості зварних з'єднань полімерних труб за розміром, формою та однорідністю матеріалу зовнішнього грату зварного шва.

До найбільш розповсюджених методів неруйнівного контролю стикових зварних з'єднань, які широко використовуються у полімерній промисловості, відносяться візуальний огляд (наприклад, у Північній Америці) та метод безпосередньої оцінки грату (наприклад, у Великобританії). При останньому відбувається видалення зовнішнього грату та його подальші механічні випробування. Однак було виявлено, що якісний грат не завжди є ознакою якісного зварного шва.

У відділі зварювання пластмас Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України було запропоновано квазіруйнівний метод випробувань зварних з'єднань, при якому видаляється не лише зовнішній грат, але й вирізається певна частина зварного шва по дотичній до зовнішньої поверхні труби. Надалі отриманий шліф зварного шва послідовно навантажується шляхом знакозмінного згину по центру зварного шва та проводяться його механічні випробування на одновісний розтяг. Визначається руйнуюче навантаження та характер руйнування. Крихке руйнування свідчить про низьку якість зварного з'єднання, а пластичне зі значним відносним видовженням — про високу якість.

Для перевірки можливості застосування такого методу контролю якості зварних швів в роботі було проведено зварювання нагрітим інструментом встик поліетиленових труб з ПЕ 100 зовнішнім діаметром 110 мм та товщиною стінки 10 мм. За вищезазначеною методикою зі зварного з'єднання вирізали шліф товщиною 30 та 50 % від товщини стінки труби. Механічні випробування вирізаних шліфів показали високу якість зварних з'єднань. Для підтвердження цих результатів були проведені гідравлічні випробування зварного з'єднання. Було виявлено, що при зрізанні 50 % зварного шва руйнування відбувається не в осьовому, а в тангенсальному напрямку. В той же час зварні з'єднання зі зрізом 30 % товщини стінки труби успішно про-

йшли гідравлічні випробування, витримавши гідравлічний тиск у 24 бари протягом 100 год при температурі води 20 ± 1 °С, а руйнування відбулося при лінійному підйомі тиску до 45 бар. Таким чином, запропонований квазіруйнівний метод випробувань зварних з'єднань є перспективним для подальших розробок, оскільки за нормативними документами подібні поліетиленові труби можуть використовуватися для напірних трубопроводів з тиском до 10 бар, а гідравлічні випробування за державним стандартом ДСТУ EN 12201-2: 2018 вважаються успішними при витримюванні тиску більше 16 бар протягом 100 год.

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

С.Ф. Гориченко¹, В.Е. Шолоник¹, А.Г. Анисович²,
А.Р. Баев³, А.С. Гаркун³, А.П. Крень³, М.Л. Хейфец³

¹ПРУП «Мингаз» Министерства энергетики Республики Беларусь

²Физико-технический институт НАН Беларуси

³Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск

Для анализа возможных причин разрушения элементов газораспределительной системы обычно проводится следующий комплекс обширных исследований: визуально-оптический контроль и изучение изломов, дефектоскопический контроль (чаще всего ультразвуковая дефектоскопия), измерение твёрдости и микротвёрдости, металлографические исследования, механические испытания на растяжение и ударную вязкость, определение химического состава материала [1, 2].

Мировой опыт систематизации многочисленных аварийных ситуаций за длительный период эксплуатации газораспределительных систем показал их важнейшие причины: коррозия, неоднородное напряженно-деформированное состояние материала, а также результат их совместного действия — коррозионное растрескивание под напряжением, усугубляемые упруго-пластическими изгибами [3, 4].

Для анализа конструктивных элементов газораспределительных систем предлагаются новые дополнительные приборы и методы исследования. По предложенной методологии для сравнительного анализа рассматривались трубы с внутренними расслоениями материала, а также трубы со следами коррозии в местах механических повреждений.

Анализ продольных и поперечных скоростей звука, упругих модулей образца и измерение толщин стенок трубы. Визуальный внешний осмотр фрагмента второй трубы обнаружил элементы коррозии с внешней стороны. Возле участка, подвергнутого коррозии, присутствует участок с механическим повреждением.

Использовался электромагнитоакустический толщиномер и изучались в режиме эхо области с расслоением материала и с участком коррозии. На основании ультразвукового обследования изученных образцов и измерения скорости продольных и поперечных волн получены данные о модуле Юнга и коэффициенте Пуассона, являющиеся важными характеристиками физико-механических свойств металла.

Ультразвуковое обследование с использованием бесконтактного (ЭМА-методом) прозвучивания образцов показало принципиальную возможность определения расслоений в газовых трубах. Однако для практического использования проведения ультразвуковой диагностики последних необходимо проведение дополнительных работ по усовершенствованию конструкции имеющегося устройства (ЭМА-толщиномера) и, соответственно, методики измерений, учитывающей влияние кривизны труб на измерительный тракт.

Анализ структуры образца на участке трубы с внутренними отслоениями. Химический состав фрагмента трубы соответствует Стали 20. На шлифе без травления обнаружены протяженные сульфиды, а также строчки дефектов, предположительно шлаков или продуктов коррозии. Балл по сульфидам — порядка 3...4. Структура стали видманштетт, балл 2А по ГОСТ 5640–68. В середине образца присутствует зона ярко выраженной структурной неоднородности, представляющая собой полосу феррита с протяженными сульфидами, а также полосу посторонних включений. На поверхности формируются трещины, которые развиваются, по-видимому, по включениям сульфидов в результате коррозии вдоль сульфидной цепочки.

Анализ структуры образца на участке трубы со следами коррозии. Химический состав участка трубы соответствует Стали 10. На нетравленном шлифе обнаружены протяженные включения сульфидов, вытянутые вдоль направления деформации. Балл по сульфидам соответствует 4 по ГОСТ 1778–70. Помимо светло-серых сульфидов в строчке присутствуют темные фрагменты, которые можно классифицировать как шлаки. Структура стали — феррит и перлит. Размер зерна феррита 10...40 мкм. Перлит пластинчатый,

грубодисперсний. В некоторых участках структура может быть классифицирована как феррито-карбидная смесь. В поверхностной зоне образцов наблюдаются различные незначительные дефекты в виде трещин.

Физико-механические характеристики и результаты испытаний на ударную вязкость и растяжение. Твердость образцов из Стали 20 по Бринеллю составила 135 НВ. Измерения на ударную вязкость показали значения в диапазоне от 6844 до 7063 Дж/см². Твердость образцов из Стали 10 по Бринеллю — 135 НВ. Ударная вязкость в диапазоне от 6625 до 6475 Дж/см².

Напряженно-деформированное состояние на участке трубы с внутренними отслоениями. Измерения напряжений, возле дефекта, проводились перпендикулярно плоскости плены. Результаты измерений напряжений, показали, что они во всех случаях не превышают 60 % от предела текучести.

Для оценки опасности изменения напряжений в области плены в зазор искусственно вставлялся клин, который раздвигал края металла. Соответственно при этом происходило изменение напряженного состояния — уровень напряжений значительно возрос и превышал значения предела текучести.

Заключение. Таким образом, анализ локальных повреждений труб газораспределительной системы по предложенной методологии исследования раскрыл комплексы основных как технологических, так и эксплуатационных причин образования повреждений на участках системы.

Проведенные исследования первой трубы показали, что обнаруженный дефект вероятнее всего производственный, и не связан с длительной эксплуатацией газопровода.

Фактические эксплуатационные свойства металла фрагмента трубы газопровода соответствуют требованиям, предъявляемым к Стали 20, а существенной деградации свойств не обнаружено.

Проведенные исследования второй трубы выявили почвенную коррозию, по своему типу, относящуюся к электротехнической, и обусловленную совместным действием двух факторов: составом грунтов в месте залегания трубы и наличием механического повреждения. В результате это создало концентрацию механических напряжений и способствовало повышению скорости коррозии.

Фактические эксплуатационные свойства металла в местах, не подвергнутых коррозии, соответствуют требованиям, предъявляемой к Стали 10, а деградации свойств, в местах не затронутых коррозией, не обнаружено.

1. Махутов Н.А. и др. (2017) *Диагностика и мониторинг состояния сложных технических систем*. Тюмень, ТИУ.
2. Махутов Н.А. и др. (2013) *Анализ рисков и обеспечение защищенности критически важных объектов нефтегазохимического комплекса*. Тюмень, ТюмГНГУ.
3. Махутов Н.А. и др. (2010) Некоторые вопросы развития систем упреждающей диагностики. *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*, 4, 22–48.
4. Махутов Н.А. и др. (2008) Выбор параметров и принципы построения систем штатной и аварийной диагностики критически важных объектов и их защиты от комплексных угроз. *Там же*, 2, 20–34.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ РОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ СПОСОБОМ НАКОПИЧЕННЯ ПРИ АТМОСФЕРНОМУ ТИСКУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТЕРМОУСАДЖУВАНИХ ТРУБОК ТА ІНДИКАТОРІВ НА РОБОЧІ РЕЧОВИНИ

В.М. Гребенніков¹, Ю.І. Коцар², П.А. Манорик¹, Ю.М. Посипайко³, О.В. Шульженко¹

¹Інститут фізичної хімії ім. Л.В.Писаржевського НАН України, Київ

²ДП «Південний машинобудівний завод», м. Дніпро

³Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

Рознімні з'єднання відповідальних промислових конструкцій через складну конфігурацію й обмежений доступ до місць можливих витоків є чи не одними з найбільш складних об'єктів контролю (ОК) на герметичність як на етапі приймально-здавальних випробувань конструкцій, так і на етапі експлуатаційного контролю останніх.

Найбільш простим і тому розповсюдженим на сьогодні підходом щодо оцінки сумарної негерметичності малогабаритних рознімних з'єднань на етапі приймально-здавальних випробувань є використання способу накопичення при атмосферному тиску. Суть зазначеного способу полягає в створенні навколо зазначених

ОК замкненого об'єму накопичення величиною V (зазвичай за допомогою поліетиленової плівки й клейкої стрічки на її стиках), заповненні порожнини ОК пробним газом (наприклад, гелієм), або сумішшю цього газу з газом-носієм до випробувального тиску, витримуванні ОК під цим тиском певний час τ_v , визначенні концентрації пробного газу $C_{\text{он}}$ в порожнині об'єму накопичення відповідним детектором (наприклад, мас-спектрометричним течешукачем) й розрахунку сумарної негерметичності (Q) об'єкта контролю за відомою формулою [1]:

$$Q = k \Delta C V 100 / \tau_v C_{\text{он}},$$

де k — коефіцієнт, Па, що залежить від герметичності об'єму накопичення по відношенню до пробного газу, який за час накопичення проникає з цього об'єму в атмосферу, а також дозволяє узгодити розмірність.

Після прийнятно-здавальних випробувань зазначених ОК не можна виключити можливість часткової розгерметизації таких об'єктів внаслідок складно прогнозованого в часі процесу релаксації в них напружень [2]. Тому виникає необхідність оцінки герметичного стану зазначених об'єктів також і на етапі експлуатаційного контролю, тобто після заповнення їх робочими речовинами, особливо, коли такі речовини є екологічно-, вибухо- або пожежонебезпечними.

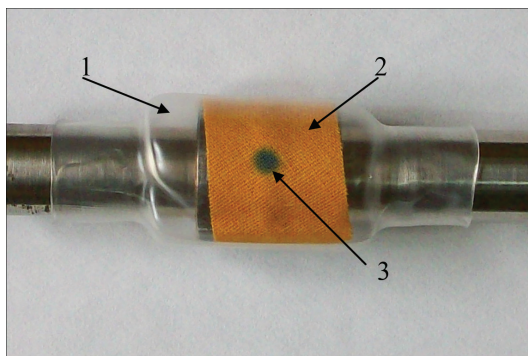
Для оцінки герметичного стану зазначених об'єктів на етапі експлуатаційного контролю найчастіше використовують хімічні методи випробувань на герметичність, засоби реалізації яких внаслідок хімічної реакції між ними й робочими речовинами, що проникають крізь дефекти назовні, здатні контрастно змінювати вихідний колір [3].

Мета даної роботи полягала в розробці нового, більш ефективного підходу щодо оцінки герметичного стану ОК способом накопичення при атмосферному тиску як на етапі контрольних прийнятно-здавальних випробувань конструкцій, так і на етапі експлуатаційного контролю.

Для досягнення мети пропонується використовувати як напівфабрикат для формування навколо зазначених ОК замкненого об'єму накопичення відрізок прозорої термоусаджуваної трубки з полімерних матеріалів (таких як поліетилен, полівінілхлорид, поліестер або фторопласт), що одержані переважно шляхом обробки гамма-випромінюванням. До збирання розніжного з'єднання розташовувати відрізок зазначеної трубки на трубопроводі поблизу ОК, а після збирання ОК переміщувати трубку, розташовувати її над ОК і розміщувати в порожнині трубки індикаторний матеріал на робочу речовину. Після цього нагрівати кінцеві ділянки відрізка трубки до температури усадки полімерного матеріалу й, таким чином, герметично з'єднувати трубку з трубопроводом по обидва боки від ОК [4].

Застосування такого підходу дозволяє створити навколо ОК практично герметичний об'єм накопичення відомої величини на час, що необхідний для контролю герметичності об'єктів на етапі прийнятно-здавальних випробувань конструкцій, і, відповідно, визначити на цьому етапі сумарну негерметичності ОК із застосуванням пробного газу й налаштованого на нього детектора. Потім, використовуючи той самий об'єм накопичення й розташований у його порожнині індикаторний матеріал на робочу речовину, здійснити експлуатаційний контроль герметичності ОК, заповнений цією речовиною.

У разі необхідності створений об'єм накопичення може бути легко видалений з ОК після завершення експлуатаційного контролю конструкції на герметичність.



Зовнішній вигляд об'єму накопичення (1), створеного навколо розніжного ніпельного з'єднання за допомогою прозорої поліетиленової термоусаджуваної трубки, й індикаторного матеріалу (2) на робочу речовину (амоніак) в його порожнині з утвореним на його поверхні індикаторним слідом (3) в місці контакту з робочою речовиною, що проникла крізь наскрізний дефект з'єднання

На рисунку, як приклад, представлено фотографію об'єму накопичення, сформованого навколо малогабаритного ніпельного рознімного з'єднання конструкції із застосуванням прозорої поліетиленової термоусаджуваної трубки (коефіцієнт усадки 4) та розташованого в його порожнині індикаторного матеріалу на робочу речовину (амоніак) [5] після завершення приймально-здавальних і наступних експлуатаційних випробувань конструкції на герметичність.

1. (1990) *Технология сборки и испытаний космических аппаратов*. Беляков И.Т., Зернов И.А. (ред.). Москва, Машиностроение.
2. Санін Ф.П., Джур Є.О., Кучма Л.Д., Найденов В.А. (1995) *Герметичність у ракетно-космічній техніці*. Дніпропетровськ, Вид-во ДДУ.
3. Бударин Л.И., Касаев К.С., Наумов В.Н. (1991) *Химические методы испытаний изделий на герметичность*. Чертов В.М. (ред.). Киев, Наукова думка.
4. *Спосіб контролю герметичності з'єднань трубопроводів конструкцій*. Україна, Пат. 106335, МПК G 01 M 3/00. № а 2013 12776; заявл. 04.11.2013; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15.
5. *Хімічний індикаторний проявник витоків амінів крізь наскрізні дефекти з'єднань конструкцій*. Україна, Пат. 108533, МПК G 01 M 3/20. № а 2013 09955; заявл. 09.08.2013; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОРТАТИВНОГО ЭМАП ДЛЯ КОНТРОЛЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ СО СВЕРХБОЛЬШИМИ ЗАЗОРАМИ

С.В. Демченко¹, Г.М. Сучков²

¹ООО НПП УКРИНТЕХ, Харьков

²НТУ «ХПИ», Харьков

Мировая промышленность использует большое число изделий, изготовленных из ферромагнитных материалов, среди которых стальные листы, трубы, оболочки, емкости и т.д. Такие изделия подвержены коррозии. При этом для надежной эксплуатации части таких изделий покрывают краской, пластиком или керамикой. Однако в полной мере защитить изделия от повреждений во время эксплуатации невозможно. Кроме того, например, в трубопроводах различного назначения, емкостях для хранения жидкостей и в аналогичных изделиях на внутренних стенках формируются отложения, рис. 1, иногда значительной толщины, вследствие этого обнаружение коррозионных повреждений металла под такими отложениями существенно осложняется.

Как правило, обнаруживают поврежденные участки в таких изделиях путем применения неразрушающих методов, среди которых основным является ультразвуковой (УЗ). Традиционные УЗ приборы требуют зачистки поверхности ввода/приема ультразвука, что существенно удорожает стоимость диагностики. Существенную проблему представляет собой УЗ контроль размещенных в недоступных местах газо- нефте- и продуктопроводов, в которых на внутренних поверхностях формируются коррозионные повреждения и отложения значительной толщины. Отложения необходимо удалять перед проведением диагностики, что составляет огромную проблему и требует существенных материальных затрат.



Рис. 1. Образец трубы большого диаметра бывшей в эксплуатации с отложениями значительной толщины на внутренней поверхности (фото представлено ООО «СПБГУ ДАЙНЭМИКС»)

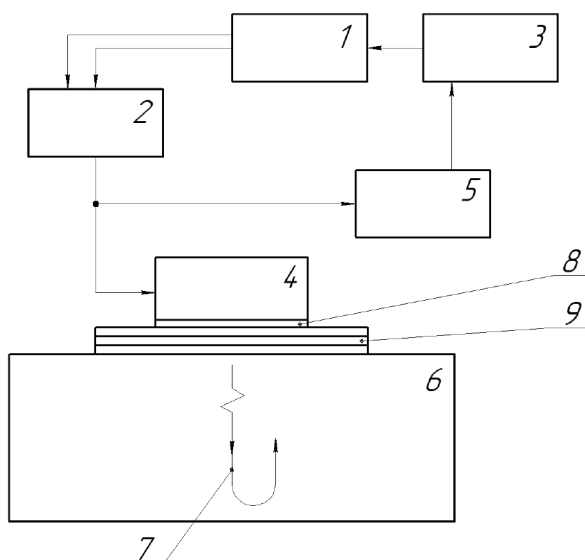


Рис. 2. Стенд для исследований возможностей ЭМАП, предназначенного для проведения ультразвукового контроля изделий со значительным диэлектрическим промежутком между протектором преобразователя и поверхностью металла

Решить проблему контроля «сложных» изделий возможно за счет применения электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП). Однако известные ЭМАП могут проводить контроль при незначительных зазорах между преобразователем и металлом.

По мнению авторов на сегодняшний день имеются все возможности обеспечить ультразвуковой контроль ферромагнитных изделий с использованием электромагнитно-акустического способа возбуждения и приема со значительными зазорами между ЭМА преобразователем и поверхностью изделия. Для реализации упомянутых возможностей авторы разработали устройство, которое включает ЭМАП, генератор зондирующих импульсов тока и предварительный малошумящий усилитель принятых сигналов. Для проверки работоспособности нового устройства разработан лабораторный стенд, блок-схема которого приведена на рис. 2.

Стенд содержит управляющий блок 1, соединенный с двухтактным усилителем 2 мощности пакетного высокочастотного зондирующего импульса тока и дефектоскопом 3. Усилитель 2 соединен с портативным прямым совмещенным ЭМАП 4, который также соединен с полосовым усилителем 5 принятого ультразвукового сигнала. Усилитель 5 соединен с дефектоскопом 3.

Работает стенд следующим образом. Управляющий блок 1 формирует исходные сигналы в виде двух меандров, сдвинутых по фазе на 180° , которые поступают на усилитель 2 мощности пакетного высокочастотного зондирующего импульса тока, складываются, усиливаются и подаются на ЭМАП 4. Одновременно управляющий блок 1 вырабатывает синхронизирующий импульс для осциллографа 3. ЭМАП 4 совместно с образцом 6 возбуждают в поверхностном слое металла сдвиговые линейно поляризованные ультразвуковые пакетные импульсы 7, которые распространяются в объем образца 6 под углом 0° . Отраженные от противоположной стороны образца 6 ультразвуковые (донные) импульсы принимаются ЭМАП 4 и усиливаются

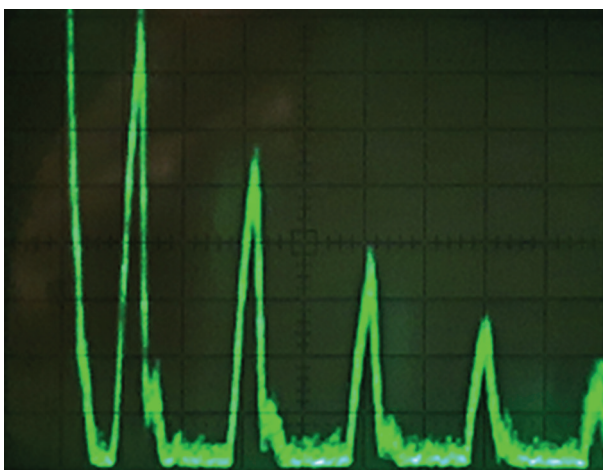


Рис. 3. Временная развертка с донными импульсами на экране дефектоскопа на стальном образце толщиной 40 мм при зазоре 15 мм

усилителем 5. Расстояние между ЭМАП и поверхностью металла устанавливали с помощью диэлектрических прокладок разной толщины. Образцом 6 служил участок листа толщиной 40 мм из стали 09Г2С.

Управляющий блок 1 позволяет регулировать частоту заполнения пакета зондирующего импульса в диапазоне 1...5 МГц, длительность зондирующего пакета в диапазоне 1...10 периодов частоты заполнения, а также, при необходимости, вырабатывать импульсы управления на другие устройства. Двухтактный усилитель 2 мощности пакетного высокочастотного зондирующего импульса тока изготовленный на базе устройства, с практически плоской амплитудно-частотной характеристикой в диапазоне 1...4 МГц. ЭМАП 4 имеет амплитудно-частотную характеристику с центральной частотой преобразования около 2,0 МГц, которая может изменяться в зависимости от зазора между ЭМАП и поверхностью изделия. Модернизированный усилитель 2 мощности пакетного высокочастотного зондирующего импульса может развивать в катушке индуктивности ЭМАП 4 пиковый ток до 450 А при пиковых напряжениях до 1,4 кВ.

В результате применения описанного оборудования удалось получить донные импульсы амплитудой до 22 дБ (отношение амплитуд первого донного импульса и шума) при толщине прокладок 15 мм, рис. 3, что вполне достаточно для проведения, например толщинометрии.

ДЕФОРМАЦІЯ МЕТАЛУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПАРОПРОВОДІВ

В.В. Дмитрик, І.В. Касьяненко

НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків

Пластична деформація металу зварних з'єднань паропроводів ТЕС із теплостійких сталей, які тривалий час працюють в умовах повзучості, надається як термічно активований процес. Чинними параметрами такого процесу є: температура ($T_e = 545 - 585$ °С); напруження ($P_e = 25,5$ МПа); швидкість деформації (V_d); тривалість напрацювання зварних з'єднань (t_n); структурно-фазовий стан металу зварних з'єднань. Згідно нормативних вимог пластична деформація паропроводів не повинна перевершувати 1 %. Водночас деформація окремих ділянок зони термічного впливу (ЗТВ) за нашими дослідженнями може складати 2–3 % і навіть 4 % за дослідженнями Ф.А. Хромченко. Стан деформації металу зварних з'єднань значною мірою визначає рівень їх пошкоджуваності порами і тріщинами повзучості.

При вивченні деформації металу зварних з'єднань доцільно розглядати окремо деформацію металу шва, основного металу, а також металу ділянок зони термічного впливу. Необхідність такого вивчення зумовлена наявністю структурної неоднорідності, яка сформувалася в металі зварних з'єднань під дією зварювального нагрівання.

Метою роботи є розробка механізму деформування металу зварних з'єднань паропроводів стосовно їх довготривалого напрацювання в умовах повзучості.

Розробку наведеного механізму виконували з урахуванням активуючих чинників. На дислокацію, що рухається по кристалу під дією сили з протилежної сторони діє сила, що гальмує її рух. Використовуючи підхід А. Івенса гальмуючу силу поділили на дві складові:

- Дальнодіюча сила F_μ , що обумовлена наявністю частинок других фаз, знаходженням дислокацій в паралельних площинах ковзання і т. ін. Водночас, в зазначеній теорії ми вперше врахували зміни. Що відбувається з частинками других фаз, утворення нових карбідів, їх коагуляцію і зміну відстані між карбідами.
- Короткочасна сила F^* , прояв якої обумовлено дислокаціями лісу, тетрагональними дефектами і т. ін. Проте короткочасна сила, в запропонованій нами моделі вперше враховувала локальний характер дислокацій лісу, а також зміну локального характеру накопичених дислокацій і їх розрядження.

Визначення напруження, яке забезпечує деформацію металу зварних з'єднань дозволяє внести уточнення стосовно надійності їх експлуатації і залишкового ресурсу.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НЕРУЙНІВНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЩОДО ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ГОЛОВНИХ БАЛОК МОСТУ ім. Є.О. ПАТОНА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО У м. КИЄВІ

В.П. Дядін, Є.О. Давидов, Р.І. Дмитрієнко

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

Автодорожній міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро є першим в світі суцільнозварним автодорожнім мостом, який отримав визнання Американської асоціації зварювання як видатна зварна споруда ХХ століття.

На час його будівництва це був революційний прорив щодо використання розроблених технологій зварювання елементів мостових конструкцій замість клепаних з'єднань. Проведені дослідження в Інституті електрозварювання під керівництвом Євгенія Оскаровича Патона дозволили переглянути існуючі на той час підходи до зварних конструкцій в цілому та застосувати передові технології механізованого зварювання під шаром флюсу, які добре себе зарекомендували під час другої світової війни на підприємствах, що виробляли корпуси броньових машин. Саме ці технології зварювання були взяті за основу та застосовані під час виготовлення металевих конструкцій мосту ім. Є. О. Патона в заводських умовах, а також під час їх монтажу на будівельному майданчику [1–3].

Міст складається з 24-х прогонових споруд та має загальну довжину 1542,2 м.

Головні поздовжні балки складаються з ферм, які зварені між собою в стик з використанням автоматичного зварювання під флюсом під час монтажу металевих конструкцій. Кількість ферм в кожній з 4-х прогонових головних поздовжніх балок становить 9 штук, в 5-ти прогонових головних балках — 11 штук, а в 6-ти прогонових головних балках — 21 шт. Ферми виготовлені з низьковуглецевої сталі марки М16С.

Міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві було запроектовано виходячи з умов, що проектна інтенсивність руху має складати 10 тис. автомобілів на добу. Наразі інтенсивність руху зросла практично в 10 разів з збільшенням ваги автомобілів. Збільшилися також і постійні навантаження на міст внаслідок прокладання труб теплотраси та укладки нового асфальтобетонного покриття.

До 2018 року головна увага при обстеженні технічного стану мосту приділялась дорожньому полотну, тротуарам, деформаційним швам, поперечним елементам і зв'язкам між головними балками [4]. Лише у 2018 року було звернуто увагу на те, що на стінках головних балок споруди в місцях розташування деформаційних швів відбулася значна корозія металу. За результатами досліджень проведених ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського» було зроблено висновок, що міст ім. Є.О. Патона знаходиться в аварійному стані та невідкладно потребує капітального ремонту з частковою заміною його конструктивних елементів. Зокрема, була акцентована увага на необхідності перевірки технічного стану головних поздовжніх металевих зварних балок з використанням сучасних неруйнівних методів контролю. Виконання цієї роботи було покладено на фахівців ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

Враховуючі великий обсяг робіт, якій потрібно було виконати при проведенні інструментального обстеження головних балок мосту, в першу чергу основна увага приділялась відбору необхідних видів неруйнівного контролю, які дозволили б більш оперативно провести оцінку технічного стану конструкцій.

Для вирішення цієї задачі було виконано ретельний аналіз технічної документації що стосується заводського виготовлення та зварки великогабаритних конструкцій на монтажу.

Необхідність цієї роботи чергу пов'язана з тим, що в процесі заводського виготовлення конструкцій так і на монтажу, додатково вносилися зміни до вдосконалення технології зварювання, викликаних особливостями збирання елементів в різних просторових положеннях та типів зварних з'єднань. Крім того під час виготовлення та монтажу ферм було залишено частину дефектів в зварних з'єднаннях, які не було видалено під час експлуатації протягом 68 років.

При обстеженні технічного стану головних балок споруд мосту робота виконувалася за наступними напрямками:

- Вибірковий ультразвуковий контроль стикових зварних з'єднань балок;
- Вибірковий ультразвуковий контроль основного металу балок на розшарування;
- Вибіркова товщинометрія основних елементів головних балок;
- Вибірковий магнітний контроль кутових і стикових зварних з'єднань.

Необхідність і достатність саме таких методів контролю було визначено за результатами попереднього обстеження головних поздовжніх балок моста, розташованих між 2-й і 3-й опорами, які були виконані фахівцями Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України в липні 2019 р. Безпосереднє виконання зазначених робіт було виконано у 2020 році.

Беручи до уваги значну загальну довжину заводських та монтажних зварних з'єднань (більше 110 км), вибіркового ультразвукового контролю стикових швів виконувався в місцях визначених за результатами візуального огляду головних балок. Основна увага приділялась місцям, в яких при монтажі та виготовленні елементів ферм були виявлені дефекти [1, 2] в зварних з'єднаннях та проводився їх частковий ремонт. Всього було проконтрольовано 150 метрів зварних з'єднань, 50 % з яких складали монтажні шви, якими з'єднувалися між собою ферми.

Результати ультразвукового контролю монтажних і заводських зварних швів прогонових споруд свідчать про те, що зварні з'єднання головних балок знаходяться у задовільному стані. Навіть ті дефекти, що були виявлені ще на етапі будівництва мосту, в процесі тривалої експлуатації розвитку не мали.

З використанням ультразвукового контролю вибірково було також перевірено суцільність основного металу головних балок. Результати такого контролю показали, що в жодній з проконтрольованих ділянок, поширення розшарування на інші ділянки не виявлено. Слід зазначати, що при проектуванні горизонтальних ребер жорсткості була передбачена їх приварка до вертикальної стінки ферми без повного проплавлення. Це дозволило значно зменшити залишкові напруження металу та за рахунок цього суттєво знизити ризик розвитку даного дефекту.

Також було додатково застосовано магнітний метод контролю.

Всього в різних місцях прогонових споруд було проконтрольовано 124 ділянки зварних з'єднань з біляшовними зонами загальною площею 40,0 м². Результати контролю вносились в робочі карти контролю, які були прив'язані до номерів ферм з яких виготовлена поздовжня балка та номерів опор між якими вона знаходиться. За результатами цих досліджень було встановлено, що в процесі тривалої експлуатації тріщини втомі в зварних з'єднаннях металевих конструкцій головних балок не утворилися і вони знаходяться в задовільному стані.

Оскільки, як зазначалося вище, метал головних балок зазнав певних втрат товщини від корозії, значна увага при їх обстеженні приділялась тому, щоб оцінити ступінь корозійного ураження елементів металевих конструкцій балок та виявити основні чинники, які сприяли розвитку корозії. Враховуючи значну довжину головних балок, товщинометрія зазначених елементів конструкції, виконувалася шляхом вибіркового вимірювання фактичної товщини

За результатами вимірювань були побудовані робочі карти контролю (168 карт-ферм).

Загалом за результатами виконаних вимірювань товщини та проведеного аналізу було визначено, що внаслідок протікання скрізь деформаційні шви дощової води та води, що утворилася внаслідок танення снігу (містить солі) на металеві конструкції головних балок, метал кінцевих ділянок ферм, які примикають до деформаційних швів, зазнав локальних, але місцями значних корозійних ушкоджень. За рахунок корозії товщина металу в елементах конструкції, а саме, в нижніх поясах, нижніх горизонтальних ребрах та в нижній частині стінок головних балок суттєво зменшилася.

1. (1953) *Отчет о заводском изготовлении элементов пролетни строений Киевского моста на заводе им. Молотова в г. Днепропетровске*. Киев, Библ. ИЭС им. Е.О. Патона.
2. (1953) *Отчет по теме «Монтажная сварка пролетных строений Киевского городского моста им. Е.О. Патона НАН УССР через р. Днепр*. Киев.
3. Лобанов Л.М., Кирьян В.И. (2013) Шестьдесят лет цельносварному мосту им. Е.О. Патона. *Автоматическая сварка*, **12**, 35–40.
4. Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В. (2018) Міст ім. Є.О. Патона — нинешній стан та перспективи. *Промислове будівництво та інженерні споруди*, **1**, 2–9.

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ПОТОЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ІНДЕНТУВАННЯ

О.А. Каток, Р.В. Кравчук, А.В. Серeda

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ

Одним із перспективних методів неруйнівного контролю поточного стану конструкційних матеріалів технічних виробів є метод інструментованого індентування. Використання цього методу в галузях народного господарства України обмежене відсутністю діючих нормативних документів на метод інструментованого індентування і методик розрахунку механічних характеристик матеріалів за діаграмами індентування.

В Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України проведено великий комплекс досліджень, направлених на розробку обладнання для проведення випробувань за методом інструментованого індентування в лабораторних та промислових умовах в макродіапазоні зусиль індентування [1, 2], а також на удосконалення і розробку нових методик визначення характеристик міцності за результатами таких випробувань [3–5]. Основні результати досліджень були використані при розробці стандарту Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка СОУ 56-28–2018 «Матеріали металеві. Визначення характеристик механічних властивостей конструкційних матеріалів за показниками твердості за Брінеллем та методом інструментованого індентування. Метод випробування» [6].

Стандарт призначений для оцінки характеристик міцності за результатами вимірювання твердості та методом інструментованого індентування. Його можна використовувати для неруйнівного контролю стану матеріалу відповідальних конструкцій сучасної техніки у процесі їх виготовлення, експлуатації і ремонту, зокрема в тепловій і ядерній енергетиці.

Вдосконалені методики визначення механічних характеристик за результатами вимірювання твердості та індентування були використані для оцінки стану металу відповідального обладнання АЕС, оскільки такий контроль протягом призначеного ресурсу є однією із основних складових забезпечення надійної та безпечної експлуатації атомних електростанцій. Оцінювались механічні характеристики матеріалів наступного обладнання:

- байпасного трубопроводу Ø159×18 мм насоса високого тиску САОЗ (сталь 08X18H10T);
- метал в околі зварного з'єднанням вхідного патрубку Ду 600 клапана зворотного до трубопроводу «свіжого» пару від парогенератора (сталь 16ГС);
- корпус підігрівача високого тиску (сталь 09Г2С).

Застосування розроблених методик [6] до визначення механічних характеристик металів обладнання АЕС за результатами вимірювання твердості та методом інструментованого індентування дає більш кращий результат для досліджених сталей у порівнянні з існуючими нормативними документами атомної енергетики України [7, 8], зокрема менше відхилення порівняно з одновісним розтягом, яке не перевищувало 10 %.

Таким чином, проведено комплекс експериментальних досліджень, за результатами якого створено нормативну базу щодо визначення характеристик міцності методом інструментованого індентування узгоджену з вимогами європейських стандартів. Отримано позитивні результати щодо використання нормативного документу для оцінки стану таких матеріалів відповідального обладнання АЕС, як сталі 08X18H10T, 16ГС та 09Г2С.

1. Katok O.A., Kravchuk R.V., Kharchenko V.V., Rudnyts'kyi M.P. (2019) A Setup for Complex Investigation of Mechanical Characteristics of Structural Materials for NPP Equipment. *Strength of Materials*, 51(2), 317–325.
2. Харченко В.В., Каток О.А., Дроздов О.В. та ін. (2009) Переносний прилад для визначення характеристик міцності металів методом інструментованого ідентування. *Надежность и долговечность машин и сооружений*, 32, 162–168.
3. Каток О.А., Харченко В.В., Дроздов А.В. (2008) Определение механических свойств сталей методом непрерывного индентирования. *Там же*, 31, 208–213.
4. Katok O., Kondryakov Ie., Kravchuk R., Kharchenko V. (2018) Determination of mechanical properties of steel 15Kh2NMFA using instrumented indentation results. *Scientific Journal of TNTU*, 89(1), 52–57.
5. Kravchuk R.V., Katok O.A., Kharchenko V.V. et al. (2019) Determination of the Mechanical Characteristics of the Metal of the Equipment of Nuclear Power Stations from Hardness Measurement and Indentation Data. *Strength of Materials*, 51(3), 381–387.
6. СОУ ПІМіц НАНУ-56-28–2018. *Матеріали металеві. Визначення характеристик механічних властивостей конструкційних матеріалів за показниками твердості за Брінеллем та методом інструментованого індентування. Метод випробування.*
7. СОУ-Н НАЕК 133:2016. *Інженерна, наукова та технічна підтримка. Методика визначення механічних властивостей металу за результатами випробувань на твердість.*
8. ТПКМ-10–01. *Типовая программа периодического контроля механических свойств металла трубопроводов АЭС с реакторами ВВЭР-1000.*

РОЗРОБКА ЄДИНОЇ ГАЛУЗЕВОЇ БАЗИ ДАНИХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТНИХ КОПРІВ

В.А. Куліш, Е.С. Крилов

ДП «Інститут «УкрНДІпроект», Київ

Одними з найбільш відповідальних гірничотехнічних споруд є металеві і залізобетонні шахтні копри, тому що забезпечують вертикальний транспорт і пов'язані з системами вентиляції гірничих виробок і безпекою підйому.

В теперішній час на вугільних підприємствах України експлуатуються 436 копрів, з яких 356 металевих і 80 залізобетонних (в тому числі 49 бетонних) більшість з яких побудовані 50–60 років тому, в результаті чого спрацювання їх становить 50–70 % і має тенденцію до зростання.

Копри, які відпрацювали вказаний термін, мають суттєві дефекти і пошкодження, потребують ремонту або повної заміни на нові.

За результатами експертної оцінки технічний стан 50 % металевих копрових споруджень, які прослужили 40 і більше років вимагають ремонтно-відбудовних робіт зі значними капітальними витратами, а близько 30 % — дорогої повної заміни.

В той же час виявлено, що існуючі результати оглядів і обстежень копрів, які здійснювали в минулі роки, в багатьох випадках проводились нерегулярно різними методами, паспорти копрів складені в довільній формі і часто-густо не несуть інформації про фактичний технічний стан несучих будівельних конструкцій.

Крім того, результати контролю і оцінка технічного стану копрів фіксувалися, в основному на паперових носіях у вигляді протоколів, висновків і т. інше, які не систематизовані в часі, по підприємствах, регіонах і т. інше.

Аналіз всіх цих проблем, проведений інститутом «УкрНДІпроект» дозволив розробити єдину галузеву базу даних технічного стану шахтних копрів (БД).

Метою її є забезпечення надійної і безпечної експлуатації копрів за рахунок введення системної паспортизації і оцінки їх працездатності по фактичному технічному стану.

Основні функції БД передбачають проведення моніторингу зміни значень критеріїв (ознак) технічного стану копрів і виконання термінів і регламентів обстежень (оглядів) копрових споруд.

Первинна інформація для проведення моніторингу надається підприємствами згідно початкових (первинних) форм (таблиць) запису, які дозволять відслідкувати динаміку змін технічного стану копрів.

На основі цієї інформації розробляються кінцеві форми облікових документів, які входять в БД в вигляді двох таблиць: «Технічні характеристики шахтного копра» та «Технічний стан шахтних копрів».

Показники БД згруповані по таких групах:

- загальні відомості підприємства, до якого належить копер;
- технічні характеристики копра і підйомної установки;
- технічний стан копра, у тому числі:
 - ▶ основи та конструктивних елементів;
 - ▶ дефекти і пошкодження;
 - ▶ терміни усування дефектів і пошкоджень;
 - ▶ пропозиції щодо подальшої експлуатації.

Розроблена структурна схема (рис. 1) передбачає, що БД формується як в часовому аспекті, так і в просторовому, а саме по областях розташування, об'єднанням підприємств та відособленим об'єктам-шахтам, шахтодільницям.

Система управління БД дозволяє виконувати обробку даних та оперувати ними в багаторівневому режимі. Показники групуються за напрямками інформативності.

Структура БД передбачає можливість ведення документації у табличному вигляді та діалоговому режимі, а саме, створення:

- форм бланків вхідних (початкових) та вихідних (кінцевих) документів;

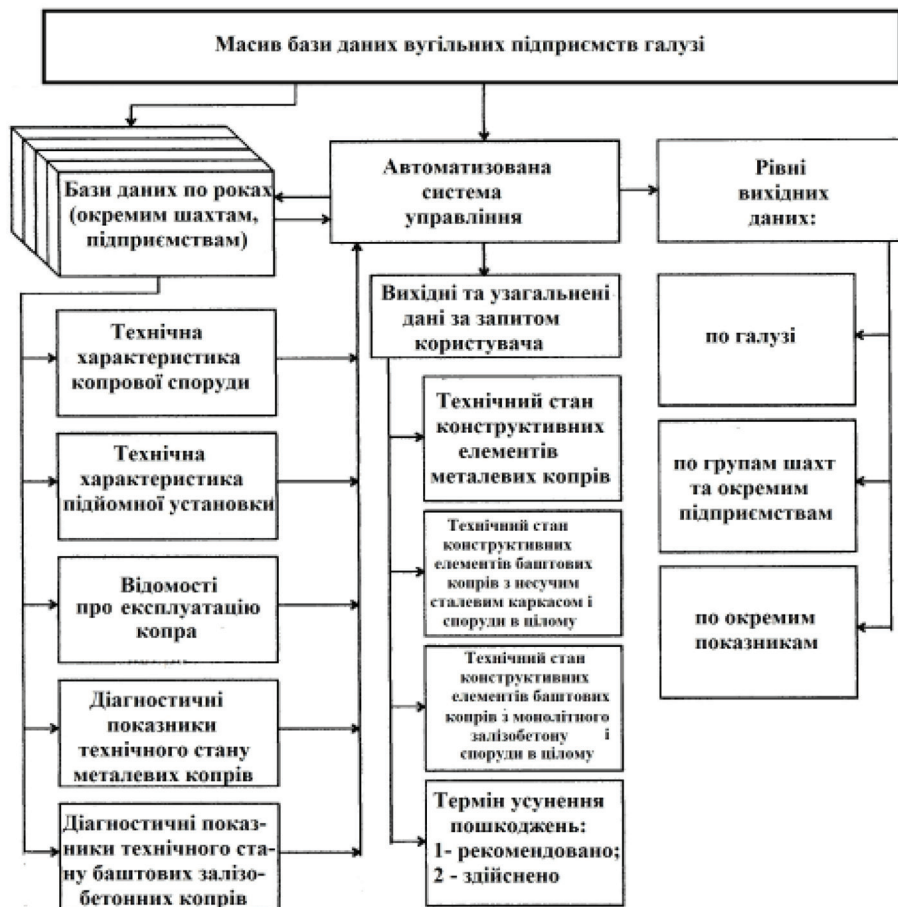


Рис. 1. Структурна схема БД

- файлів з інформацією по підприємствам;
- файлів для агрегованих даних та їх взаємозв'язків;
- словників і службових файлів.

Розроблена БД забезпечує:

- ведення щорічної реєстрації чи уточнення працюючих шахтних копрів та технічних характеристик копрової споруди і підйомної установки;
- постійний моніторинг фактичного технічного стану копрів галузі;
- регулярне поновлення та аналіз технічного стану конструктивних елементів (вузлів) металевих і залізо-бетонних копрів;
- оцінку в моніторинговому режимі наявності і наповнення паспорту технічного стану копрів;
- визначення тенденції та наслідків можливих змін;
- своєчасне планування, розробку та виконання необхідних заходів.

Виконане пробне опрацювання БД з використанням інформації, одержаної від вугільних підприємств щодо діагностично-технічних показників технічного стану копрів за 2012–2013 рр., яке показало її ефективність та дозволило висвітлити напрямки подальшого удосконалення.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕПЛОВОГО МОНИТОРИНГА

С.Н. Мешков, А.В. Мягкий, Р.П. Орел, Ю.Е. Хорошайло

НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ, Харьков

После определенного периода эксплуатации вследствие коррозии от воздействия среды, кавитационной эрозии, растрескивания дефектов сварки, нагрузочного коррозионного растрескивания и ухудшения материала в трубах возникают дефекты. Особую опасность представляют высокотемпературные напорные трубопроводы, которые широко используются на предприятиях энергетики и нефтегазового комплекса. По статистическим данным причиной более 50 % техногенных аварий, взрывов и катастроф являются дефекты трубопроводов.

Тепловой метод позволяет быстро определять места образования дефектов и оценивать толщину стенок для последующей замены критически поврежденных участков.

Для решения важнейшей задачи поиска скрытых дефектов и прогнозирования остаточного ресурса объекта был проведен машинный эксперимент. Была создана теплофизическая модель объекта — высокотемпературного напорного трубопровода (рис. 1) и решена соответствующая прямая задача теплопроводности.

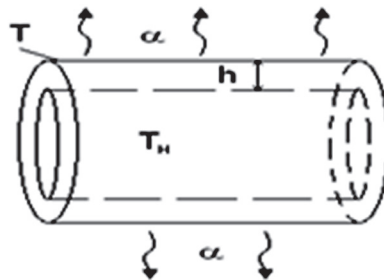


Рис. 1. Теплофизическая модель объекта контроля

Условия решения теплофизической задачи:

- труба нагревается изнутри (граничные условия первого рода) при температуре носителя T_n и коэффициенте теплоотдачи α_1 .
- снаружи имеется теплоотдача в окружающую среду с коэффициентом теплоотдачи α_2 и температурной среды T_c .
- коэффициент теплопроводности материала трубы λ .

Согласно сформированной теплофизической модели математическая модель для расчета T_h была построена на основании следующих соображений:

Тепловой поток через стенку трубы определяется как

$$q = (T_i - T_c) / R_T, \quad (1)$$

где R_T — значение термического сопротивления стенки трубы

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{h}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (2)$$

В случае однородного материала уравнение (2) примет вид

$$R_T = \frac{\lambda \alpha_1 + h \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1 \lambda}{\lambda \alpha_1 \alpha_2}. \quad (3)$$

После внесения R_T в уравнение (3) получаем:

$$q = \frac{\lambda \alpha_1 \alpha_2 (T_i - T_c)}{\lambda \alpha_1 + h \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1 \lambda}. \quad (4)$$

С учетом приведенных выражений температура T_h на поверхности трубы с толщиной стенки h можно определить из уравнения теплового баланса

Результаты расчета полезного сигнала ΔT_c , полученные при различных значениях утонения стенки трубы Δh

h_1 , мм	12				16					
T_n , °C	200				40	100	200			
Δh , мм	2	4	6	8	8	8	2	4	6	8
ΔT_c , °C	2,3	3,28	4,11	6,92	0,56	1,12	0,34	0,61	1,22	2,83

$$T = \frac{\lambda \alpha_1 \alpha_2 (T_i - T_c)}{(\lambda \alpha_1 + h \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1 \lambda) c \rho},$$

(5)

где c — теплоемкость материала; ρ — плотность материала.

Температурный перепад, который вызван утонением стенки трубы (полезный сигнал) определяется выражением:

$$\Delta T_c = T_{h1} - T_{h2},$$

(6)

где T_{h1} и T_{h2} — температура на поверхности трубы при толщине стенки $\Delta h = h_1 - h_2$.

Результаты, полученные согласно выражению (6) приведены в таблице.

По мере утонения стенки уменьшается термическое сопротивление и на поверхности трубы формируется тепловая аномалия (локальный перегрев). Чувствительность современных тепловизоров составляет 0,05–0,2 °C. Достоверное выделение оператором зон с аномальной температурой, которые соответствуют дефектам, возможно при 3–5 кратном превышении сигнала над шумом. Согласно таблицы, все значения ΔT_c , °C превышают порог обнаружения дефектов по указанному критерию, что говорит о перспективности применения теплового метода контроля.

Экспериментально была промоделирована ситуация возникновения и развития тепловой аномалии (рис. 2). В качестве объекта был использован лист металла (2) толщиной 4 мм. С одной стороны, лист нагревался тепловой пушкой (1), а с другой — был установлен тепловизор (3). Тепловизор работал в режиме записи термофильма (покадровой регистрации). Динамика развития температурной аномалии, соответствующей реальному процессу уменьшения температурного сопротивления («утонению стенки») модельного объекта показана на рис. 3.

Если известна динамика термического процесса, то можно предсказать время достижения определенных значений температуры в аномальных точках теплового поля (что в данном случае соответствует утонению стенки трубы). Исходя из принципа подобия, при проведении теплового мониторинга аномальных темпера-

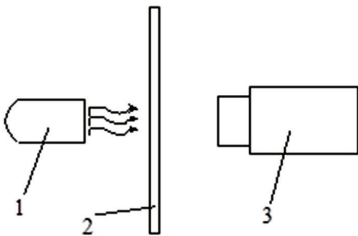


Рис. 2. Схема эксперимента по моделированию процесса изменения теплового сопротивления (утонению) стенки трубы

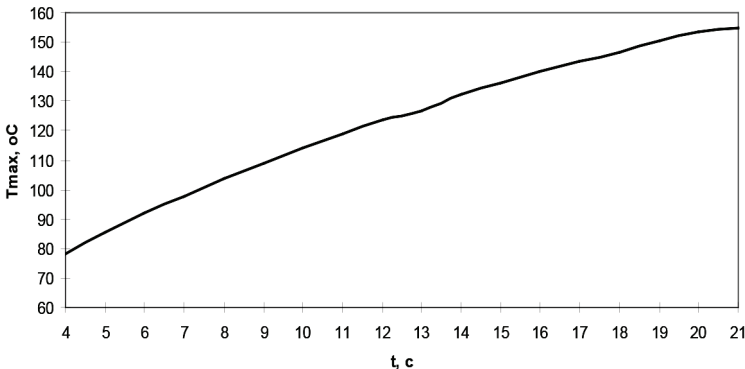


Рис. 3. Динамика тепловой аномалии («утонения стенки») на модельном объекте

турных зон любого технического объекта, можно сделать предположение о времени достижения критического уровня его дефектности.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Разработана математическая модель развития дефекта «утонения стенки» для высокотемпературных напорных трубопроводов, которая может быть использована и для других объектов (например — футеровка стен мартеновских печей). Экспериментально промоделирована динамика термического процесса. Показано, что тепловизионный мониторинг позволяет прогнозировать время достижения критических значений температуры и оценивать остаточный ресурс эксплуатации технического объекта для принятия своевременного управленческого решения.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В.А. Стороженко, С.Н. Мешков, Р.П. Орел

НТЦ «Термоконтроль» Харьковского национального университета радиоэлектроники

Процедура теплового контроля заключается в тепловом воздействии на объект контроля и регистрации возникающего при этом нестационарного температурного поля на его поверхности. Информацией о скрытых дефектах служат локальные аномалии температурного поля, обычно оцениваемые по амплитудному критерию (температурному контрасту): абсолютному — ΔT или относительному — $\Delta T/T$ [1].

В лаборатории НТЦ «Термоконтроль» разработаны методики теплового контроля охлаждаемых лопаток турбин высокого давления и теплозащитных покрытий.

Для решения поставленных задач на начальных этапах работы были проведены следующие исследования:

- построены теплофизические модели объектов контроля, определены наилучшие (с точки зрения выявления дефектов) режимы теплового воздействия;
- определены ожидаемые величины сигналов от дефектов различного типа, а также параметры оптимальных режимов проведения ТНК (мощность и время теплового воздействия, время регистрации термограммы);
- проведены экспериментальные исследования на реальных образцах (лопатках, изделиях с теплозащитными и сотовыми покрытиями) с целью проверки и уточнения результатов теоретического анализа;
- создано программное обеспечение для обработки результатов и определения критериев качества проконтролированных изделий;
- разработаны и созданы опытные стенды для проведения ТНК лопаток турбин и изделий с теплозащитными и сотовыми покрытиями в лабораторных условиях.

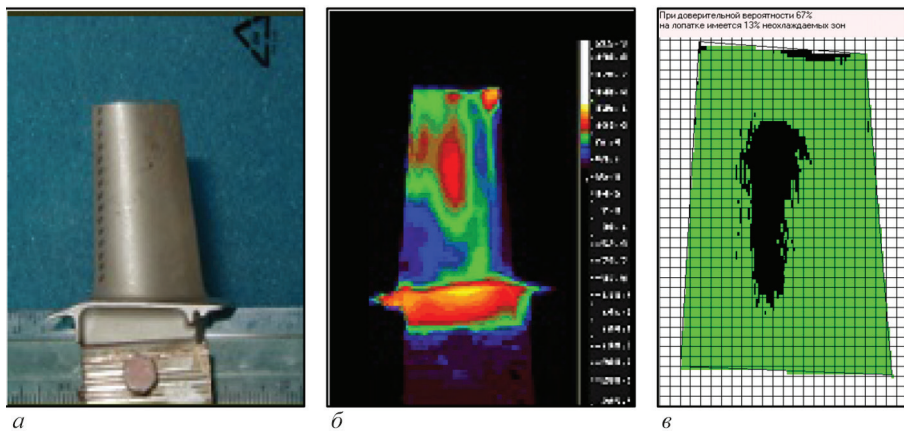
Для лопаток турбин задачей ТНК является обнаружение таких дефектов как засорение каналов охлаждения, поверхностные и подповерхностные трещины (прожиг).

Существующие методики ТНК засорения каналов используют продувку лопатки горячим воздухом при постоянном давлении, или же продувку холодным воздухом предварительно нагретой лопатки. Оценка дефектности производится путем сравнения с эталоном и носит качественный характер (решение принимается на основании субъективных выводов оператора) [2].

Основным препятствием для распознавания дефектов непосредственно по термограмме является неоднородность коэффициента излучения контролируемой поверхности. Его локальные значения влияют на видимую температуру поверхности объекта контроля (ОК) и оказывают сильное маскирующее действие при выявлении дефектов. Создано много программ и алгоритмов снижения шума, вызванного флуктуациями излучательно-поглощательных свойств ОК, однако шумовые характеристики ОК в ТНК мало изучены и поэтому простые фильтрующие алгоритмы, как правило, малоэффективны.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что амплитудный критерий дефектности при ТНК лопаток является неприемлемым, т.к. не позволяет однозначно идентифицировать дефект на фоне помех.

Был предложен временной критерий дефектности, который позволяет получать информацию о развитии во времени температурного поля лопатки из регистрируемого термофильма и выделять дефекты на фоне помех



Результаты теплового диагностирования каналов охлаждения авиационных лопаток: *а* — лопатка; *б* — кадр термофильма; *в* — результат обработки

[3]. Его помехозащищенность состоит в том, что при достаточном количестве обрабатываемых кадров можно использовать последовательно алгоритм временной фильтрации случайных помех, а затем с достаточной точностью определять дисперсию критерия дефектности и критерия наличия флуктуаций. При достаточном отличии этих величин можно распознавать дефекты на фоне флуктуаций излучательной способности, дающих сравнимый с дефектами температурный перепад. Экспериментальным путем было установлено, что значение температурного перепада над дефектом, эквивалентное уровню шума, составляет $\Delta T_{\text{экв}} = 1^\circ\text{C}$. На основании разработанного критерия была предложена методика, которая позволяет количественно оценить эффективность охлаждения за счет продувки лопатки воздухом.

Для реализации ТНК лопаток и выявления дефектов засорения каналов охлаждения был разработан испытательный стенд. В состав стенда входили: основание с подъемником, и блоком управления, стол для установки объекта контроля (лопатки), источник объемного нагрева, регистрирующее устройство (тепловизор) и компрессор.

Принцип работы стенда основан на активном методе ТНК. Контролируемый объект (лопатка) подвергается двойному тепловому воздействию:

- нагреву снаружи объемным тепловым источником;
- охлаждению изнутри (продувкой воздуха).

Получаемый с помощью тепловизора термофильм обрабатывался с помощью программного обеспечения «FIRST-V4». На рисунке показаны лопатка, ее характерная термограмма и результаты обработки.

Поверхностные трещины обычно обнаруживаются с помощью жидких пенетратов, однако этот метод непригоден в случае забитых поверхностных и всех подповерхностных трещин.

Для выявления этого типа дефектов лопатки был разработан метод «тепловой волны». При нагреве лопатки распространяющаяся вдоль нее изотерма испытывает искажения в месте нахождения трещины. Поверхностные трещины уверенно фиксируются на термограмме, если лопатка нагревается со стороны замка. Была создана математическая модель процесса и проведен машинный эксперимент, результаты которого были подтверждены экспериментальными исследованиями [4].

Выводы. Разработаны и внедрены в производство методика и средства для ТНК лопаток турбин, которые позволяют выявлять засорение каналов охлаждения и поверхностные трещины. На основе динамического критерия разработан пакет программ для обработки результатов контроля.

1. Стороженко В.А., Маслова В.А. (2004) *Термография в диагностике и неразрушающем контроле*: Монография. Харьков, Смит.
2. Xavier P.V. (2001) *Maldague Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. N.Y., A Wiley-Interscience Publication.
3. Стороженко В.А., Мешков С.Н., Маслова В.А. (2005) Методы распознавания дефектов при тепловом контроле элементов авиакосмической техники. *Сб. тр. 2-го Междунар. радиоэлектронного форума «Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ2005)*, 3, 370–373. Харьков, ХНУРЭ.
4. Стороженко В.А., Мельник С.И., Мешков С.Н Чумаков А.Г (2003) Оптимизация тепловой дефектоскопии лопаток турбин авиадвигателей. *Сб. тр. 4-й Нац. НТК и выставки НКТД-2003, 19–23 мая, г. Киев*, 362–366.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ НАМАГНИЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ

В.А. Троицкий, В.М. Горбик, О.С. Бородай

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

С целью усовершенствования процесса проведения магнитопорошкового контроля (МПК) способом приложенного поля, — в ИЭС им. Е.О. Патона был разработан ряд намагничивающих устройств (НУ) на постоянных магнитах. Дальнейшее широкое применение получило НУ ТВА-5 (рис. 1). Данное НУ представляет собой устройство с двумя полюсами, в котором магнитопровод выполнен из шарнирно соединенных ферромагнитных элементов с горизонтальным, параллельно поверхности контролируемого изделия, расположением магнитов. Такая конструкция ярма позволяет исключить магнитные противотоки при сближении полюсов.

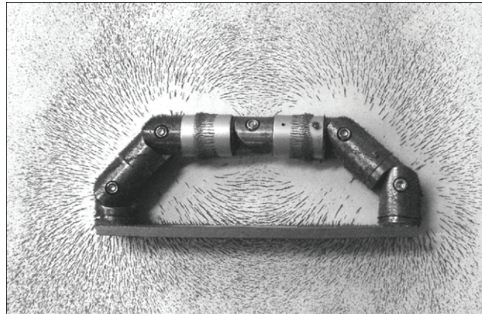


Рис. 1 НУ ТВА-5

Задачей сравнительных испытаний с другими дефектоскопами на постоянных магнитах, имеющихся сегодня на рынке Украины (МАГЭКС-1П, Helling и МД-4П). Было определение достоверности МПК по следующим направлениям:

- измерение напряженности магнитного поля в зазоре между полюсами на неферромагнитном стенде и стальной пластине размером 500×250×12 при разных межполюсных расстояниях (40, 60, 100 мм);
- измерение тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в центре между полюсами как вне, так и на поверхности изделия при межполюсном расстоянии 60, 80, 100 мм (вне) и 70 мм (на);
- способность выявления индикаций при расположении несплошностей на разной глубине залегания.

При анализе результатов п. 1 было выявлено, что с приближением полюсов друг к другу возрастает нормальная и тангенциальная составляющая индукции магнитного поля. Интенсивность роста B_n и B_t в конструкции с тросиком в 2–3 раза быстрее, чем в случае монолитного ярма.

Анализ результатов п. 2 выявил, что отношение величин $\theta = \frac{B_n}{B_t}$ вблизи полюсов для МД-4К на воздухе $\frac{B_n}{B_t} = \frac{35}{110} = 0,3$, а на ферромагнитном изделии $\frac{B_n}{B_t} = \frac{45}{18} = 2,5$.

Для ТВА на воздухе $\frac{B_n}{B_t} = \frac{10}{35} = 0,28$, на изделии $\frac{B_n}{B_t} = \frac{15}{9} = 1,7$. Это свидетельствует о том, что вертикальность направления намагничивания существенно ухудшает показатель θ . При измерениях напряженности магнитного поля в зазоре между платинами были построены графики зависимости. Обнаружено, что с удалением друг от друга магнитных полюсов от 60 мм до 100 мм магнитное поле внутри металла при НУ ТВА-5 изменяется мало, а в случае НУ МАГЭКС-1П с тросиком оно уменьшилось на 17 % с 70 до 60 мТл. С удалением полюсов друг от друга вводятся дополнительные зоны металла с их магнитными сопротивлениями и уменьшается величина магнитного потока внутри металла, связанная с перераспределением и увеличением магнитных полей рассеяния. В случае изготовления ярма в виде тросика при удалении полюсов падает как абсолютная величина магнитного потока, так и появляются зоны с $\theta = 0$.

Для реализации п. 3 был изготовлен испытательный образец толщиной 20 мм из конструкционной стали с восьмью сверлениями Ø 1 мм на разных глубинах залегания от поверхности. Лучшие результаты показало НУ ТВА-5 которое оказалось способным выявлять несплошности, расположенные под самым полюсом.

Т.о. применяемое МАГЭКС-1П, Helling и МД-4П не выявляет значительную часть дефектов металла ухудшая достоверность МПК в целом. Предлагаемое НУ ТВА-5 является более достоверным для выявления индикаций при МПК и перспективным в области его применения.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ДЕТЕКТОР

В.А. Троицкий, М.Н. Карманов, В.А. Шалаев

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

В Институте электросварки им. Патона создан высокочувствительный рентгеновский телевизионный детектор, в котором используется недорогой цифровой мини-сенсор S10811-11 (Hamamatsu Photonics, Япония): рабочая область 24×34 мм (1700×1200 пикселей, размер пикселя 20 микрометров. Такие характеристики недостижимы для широко используемых во всем мире больших радиоскопических панелей.

В новом детекторе используется принцип сканирования и цифрового сшивания изображений небольших фрагментов объекта. Шаговый привод перемещает высокочувствительный сенсор. Соседние фрагменты цифровых рентгеновских изображений программно сшиваются в полноформатное цифровое изображение. Так получен детектор больших размеров с разрешением стоматологического сенсора.

Стоимость таких систем на порядок ниже, а разрешение в 5 раз выше по сравнению с большими полупроводниковыми детекторами.

Толщина испытываемых объектов для сенсора S10811-11 (максимальное напряжение – 70 кВ) — алюминий 6 мм. Этот принцип сканирования можно использовать для сенсоров на большее напряжение.

Эти работы по созданию сканеров для наблюдения за крупными протяженными объектами должны найти широкое применение и являются хорошей основой проекта по мониторингу постоянно действующих объектов.

Современные плоскопанельные рентгеновские сенсоры позволяют получить рентгеновские изображения непосредственно при просвечивании контролируемого изделия, соизмеримые с размерами рентгеновской пленки (20–50 см). Основной недостаток таких панелей — их высокая стоимость и относительно низкая разрешающая способность (порядка 100 мкм), в несколько раз уступающая лучшим рентгеновским пленкам.

Одним из новых предлагаемых нами направлений цифровой радиографии, стало создание радиоскопических сканирующих детекторов на основе недорогих высокочувствительных миниатюрных твердотельных сенсоров, применяемых в медицине (стоматологии), например, DR 7 NDT (DÜRR NDT), S10811-11 (Hamamatsu Photonics) (рис. 1).



Рис. 1. Рентгентелевизионный сканирующий детектор

Технические характеристики сенсора S10811-11 (Hamamatsu Photonics):

- рабочая область 34×24 мкм;
- разрешение 1700×1200 пикселей (25 пар лин./мм);
- АЦП 12 бит;
- размер пикселя 20 мкм;
- размеры сенсора $42,5 \times 30 \times 13$ мм.

Высокая разрешающая способность сенсора позволяет выявлять микровключения, микротрещины с очень тонкой структурой (20–25 мкм).

Высокий уровень дискретизации рентгеновского изображения позволяет получить 10-ти кратное увеличение размеров контролируемого фрагмента изображения на экране компьютера без потери его качества.

Основной недостаток мини сенсоров — малый размер рабочего поля (30–40 мм). Во многих случаях этого недостаточно, чтобы заменить ими традиционную рентгеновскую пленку.

Для увеличения размеров контролируемой зоны предлагается выполнять цифровое (программное) сшивание отдельных фрагментов последовательно считываемых рентгеновских изображений.

Для контроля протяженных объектов на основе мини-сенсора был разработан недорогой прецизионный рентгентелевизионного сканера (рис. 1). В качестве электропривода сканера используется шаговый двигатель с винтовой передачей и линейные направляющие, по которым перемещается миниатюрный сенсор.

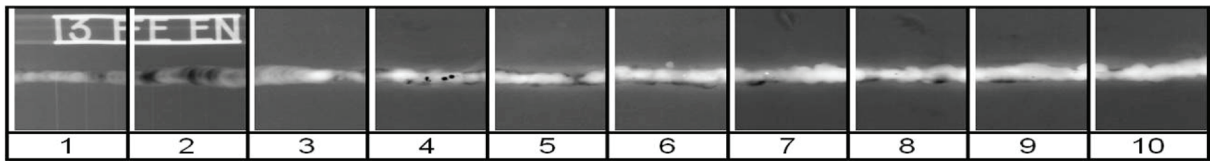


Рис. 2. Исходные фрагменты рентгеновских изображений (24×34 мм)

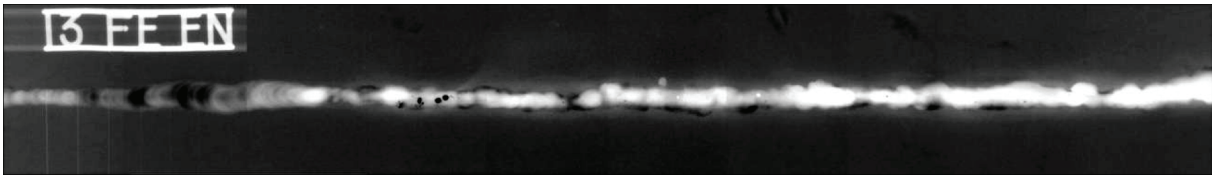


Рис. 3. Результаты сшивания 10 фрагментов изображений (полноформатное рентгеновское изображение, полученное из отдельных фрагментов)

олученные при сканировании смежные фрагменты цифровых рентгеновских изображений сварного соединения (рис. 2) запоминаются в компьютере и программно сшиваются в единое полноформатное цифровое изображение (рис. 3). Время получения цифрового радиационного изображения 300×34 мм — менее 3 минут.

Разработано программное обеспечение, которое расширяет набор возможностей переносных беспроводных рентгентелевизионных систем, позволяет оператору получать цифровое рентгеновское изображение, когда он находится на безопасном расстоянии от контролируемого объекта. Имеется программное обеспечение для определения состояния связи с детектором, контроля уровня беспроводного сигнала, заряда аккумуляторной батареи в случае автономного электропитания. Предполагается также оценка уровня рентгеновского излучения с автоматическим отключением рентгеновской установки в случае необходимости.

Выводы. 1. Опытно-промышленные испытания подтвердили возможность создания сканирующих рентгентелевизионных систем с использованием малоформатных сенсоров, что позволило существенно (в несколько раз) снизить их стоимость по сравнению с аналогичными полноформатными плоскопанельными полупроводниковыми сенсорами.

2. Разработаны микрокомпьютерные средства, которые обеспечивают беспроводное дистанционное управление рентгентелевизионными системами НК.

3. Проведенные производственные исследования сканирующего детекторы показали возможность выявления внутренних дефектов размерами до 0,1 мм.

4. Максимальная толщина рентгеновского контроля — до 6 мм (алюминий).

ВИСОКОЧУТЛИВА РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНА СИСТЕМА З ВИСОКОЮ РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ

В.О. Троїцький¹, С.Р. Михайлов², Д.О. Ковальов²

¹Інститут електросварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

²НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ

Плівкова радіографія досі є найбільш розповсюдженим методом неруйнівного контролю якості матеріалів та виробів в усіх галузях промисловості в силу добре відпрацьованої нормативної бази та існуючої інфраструктури (фотолабораторії, обладнання, навчений персонал тощо). Однак суттєві недоліки плівкової радіографії (низька продуктивність та висока вартість контролю, неможливість контролю об'єктів у реальному часі) стимулюють розробку нових методів реєстрації рентгенівських зображень, зокрема цифрової радіографії.

Нині цифрова радіографія на основі напівпровідникових плоскопанельних детекторів є одним з найбільш перспективних методів радіаційного неруйнівного контролю. Такі плоскопанельні детектори забезпечують високу чутливість контролю, що відповідає чутливості радіографічної плівки, та високу роздільну здатність. Системи на основі плоскопанельних детекторів випускаються компаніями Durr Dental (Німеччина), Sentinel NDT Equipment (США), Varian Imaging Components (США), PerkinElmer (США), GE Measurement & Control (Великобританія), Thales Group (Франція). Однак такі системи мають суттєві недоліки: висока вартість (близько 100 тис. доларів США) та обмежена радіаційна стійкість напівпровідникових детекторів, що призводить до скорочення строку служби таких систем.

Альтернативою системам на основі плоскопанельних детекторів є рентгенотелевізійні системи типу «рентгенівський екран – оптика – ПЗЗ-(КМОН)-сенсор». Такі системи мають низку переваг перед іншими: високі чутливість контролю та роздільну здатність; можливість зміни рентгенівського сцинтиляційного екрану, що дозволяє змінювати розмір робочого поля і інші параметри системи; малий час отримання зображення; простота конструкції; малі габарити і вага; низька вартість [1]. Розробкою та виробництвом подібних систем займається низка компаній, таких як ТОВ «АВКОНТ», ТОВ «Діагностика-М», ЗАТ «Тестрон» (Росія) та ін. В Україні розробкою подібних систем медичного призначення займається ТОВ «Телеоптик».

У ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України сумісно з НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» проводяться роботи по створенню мобільної цифрової високочутливої рентгенотелевізійної системи високої роздільної здатності типу «рентгенівський екран – оптика – КМОН-сенсор» для неруйнівного контролю об'єктів енергетики та авіакосмічної техніки, що здатна замінити дорогу та малопродуктивну плівкову радіографію. Система може бути застосована також у інших галузях народного господарства (промисловість, транспорт, будівництво тощо), а також для дослідження підозрілих об'єктів з метою протидії тероризму та контрабанді.

При виборі сенсора для рентгенотелевізійної системи увага була зосереджена на КМОН-сенсорах з кадровим затвором фірми SONY, що виконані за фірмовою технологією Pregius та забезпечують високу чутливість і низький рівень шуму [2]. Виконаний детальний аналіз параметрів сенсорів 1-го покоління Pregius з розміром пікселя 5,86 мкм (IMX174), сенсорів 2-го покоління Pregius з розміром пікселя 3,45 мкм (IMX250, IMX252, IMX273 та ін.), 3-го покоління Pregius з розміром пікселя 4,5 мкм (IMX420, IMX421, IMX422 та ін.) та сенсорів 4-го покоління Pregius S з розміром пікселя 2,74 мкм (IMX535, IMX536 та ін.). За результатами аналізу визначено, що найбільш придатним для системи є КМОН-сенсор IMX174 формату 1/1,2" з розміром пікселя 5,86 мкм та кількістю пікселів 1920×1200 (2,3 Мп). Сенсор має високі чутливість та квантову ефективність, яка досягає 75 %, та низький рівень шуму [3].

Проведений аналіз параметрів сцинтиляційних рентгенівських екранів: сульфідних, вольфраматних, сульфатних, фосфатних, оксисульфідних та лужно-галоїдних. При виборі рентгенівських екранів необхідно враховувати відповідність спектральної характеристики випромінювання екрану спектральній характеристиці чутливості КМОН-сенсору. Мірою такої взаємної відповідності є коефіцієнт спектральної відповідності K_c :

$$K_c = \frac{\int_0^{\infty} I(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} I(\lambda)d\lambda},$$

де $I(\lambda)$ — нормована спектральна характеристика випромінювання рентгенівського екрану; $S(\lambda)$ — нормована спектральна характеристика чутливості КМОН-сенсору.

Виконані розрахунки коефіцієнтів спектральної відповідності K_c для КМОН-сенсору IMX174 в комбінації з різними рентгенівськими екранами. За результатами проведеного аналізу та виконаних розрахунків було встановлено, що найбільш придатними для рентгенотелевізійної системи є лужно-галоїдні екрани CsI(Tl) та оксисульфідні Gd₂O₂S(Tb). В рентгенотелевізійній системі передбачається використання змінних монокрystalічних екранів CsI(Tl) діаметром 120 мм та 150 мм, а також змінних порошкових екранів Gd₂O₂S(Tb) необхідних розмірів з роздільною здатністю 5,5; 8,5; 12 та 20 пар лін./мм.

Перенесення зображення з рентгенівського екрану на КМОН-сенсор в рентгенотелевізійній системі відбувається за допомогою оптичної системи, що складається з світлосильного об'єктива та дзеркала, яке повертає зображення на 90°. Для системи визначена низка змінних світлосильних об'єктивів з фіксованою фокусною відстанню форматом 1' з роздільною здатністю 2,5÷3,0 МПа, а також варіофокальні об'єктиви з відповідними параметрами провідних фірм. Використання змінних рентгенівських екранів та змінних об'єктивів дозволяє отримувати потрібні параметри системи (розмір робочого поля, роздільна здатність, діапазон робочих енергій тощо) для вирішення будь яких задач радіаційного контролю. В рентгенотелевізійній системі, що розробляється, передбачається також використання сучасних бездротових мереж для передачі зображень та керування системою, а також сучасних цифрових методів обробки зображень.

1. Троїцький В.О., Михайлов С.Р. (2020) Високочутливі рентгенотелевізійні системи «рентгенівський екран – оптика – ПЗЗ-(КМОН)-сенсор». *Зб. тез XXIII Міжнародної конференції «Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану», 14–18 вересня 2020 р., м. Одеса*, 55–56.
2. https://www.all-over-ip.ru/hubfs/AoIP%20ADAPT/AoIP_3-12-2020_Copoka.pdf?hsLang=ru
3. https://www.phase1vision.com/userfiles/product_files/imx174lqj_llj_flyer.pdf

ФРАКТАЛЬНА ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ, ЯК ДОПОМІЖНИЙ ЗАСІБ ПРИ МОНІТОРІНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В.В. Усов¹, М.Д. Рабкіна², О.О. Штофель³, Н.М. Шкатуляк¹, Н.І. Рибак¹

¹Одеський національний університет ім. Ушинського, Одеса

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

³Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

Надійність довготривалого використання металевих конструкцій, які вичерпали термін експлуатації, або знаходяться в зоні ризику, в значній мірі залежить від підходів до визначення їх технічного стану, насамперед методами неруйнівного контролю. Слід зазначити, що більшість цих методів має досить трудомісткий характер і вимагає значних витрат. Крім того, передчасне руйнування конструкцій може бути обумовлено наявністю невидимих дефектів, які сприяють деградації фізико-механічних властивостей самих матеріалів, що потребує проведення механічних іспитів зразків, зокрема на відібраних пробах. В той же час завдяки своєчасному виявленню поширення експлуатаційних дефектів, в багатьох випадках вдається уникнути і попередити катастрофічне руйнування. До експрес методів неруйнівного контролю, за допомогою якого передбачається швидке визначення певних змін структурно-механічного стану матеріалу, цілком належить метод фрактального аналізу.

Фрактальні властивості, як відомо, притаманні багатьом об'єктам природи, як живої: корали і морські зірки і раковини, квіти і рослини (броколі, капуста), крони дерев і листя рослин, т.і.; так і неживої: межі географічних об'єктів (країн, областей, міст), берегові лінії, гірські хребти, сніжинки, хмари, тощо. Теорії фракталів і мультифракталів широко використовуються для опису властивостей самоподібності і складного скейлінга (масштабна інваріантність), які спостерігаються в різних фізичних моделях. У фізиці фрактали природним чином виникають при моделюванні нелінійних процесів, таких як турбулентний рух рідини, полум'я, хмари і т. і. Спочатку такі процеси, як зародження та поширення тріщин, сприймалися як прямі відрізки та лінії. При цьому тріщини описувались через асимптотичні рівняння лінійної механіки. За її допомогою розглядалися лише крихкі руйнування, які відбувались при рості тріщини без утворення пластичних деформацій матеріалу. Але згодом було виявлено, що при рості тріщини перед її кінчиком завжди виникає пластична зона. Тобто при наявності пластичної деформації виникає в'язке руйнування, що відбувається за рахунок процесу зародження, злиття і розподілу внутрішніх пор. Таким чином, в'язке руйнування допомогло виявити фрактальну розгалужену структуру кінця тріщини, завдяки чому отримала подальший розвиток нелінійна механіка руйнувань, яка ґрунтується на нових дослідженнях поведінки та властивостей фрактальних структур.

Характерною рисою об'єктів, названих фракталами, є їхня неціла розмірність D . Наприклад, берегова лінія є множиною, що займає проміжне положення між звичайною лінією ($D = 1$) і поверхнею ($D = 2$), причому величина $1 < D < 2$ тим більша, чим більш «порізаний» берег. Довжина берегової лінії L залежить від довжини масштабної лінійки l :

$$L(l) \propto l^{1-D},$$

де D — фрактальна розмірність порізаної (фрактальної) лінії, що перевищує топологічну розмірність ($1 < D < 2$).

З огляду на те, що в матеріалознавстві метал має сприйматися, як певний вид фракталу, головна властивість якого полягає в тому, що структура металу самоподібна, показано, що коректне визначення фрактальної розмірності D_c (тобто D_c не змінюється незалежно від збільшення світлин) залежить від режимів її травлення, тобто хімічного складу розчину і часу витримки. Так, наприклад, виявлення мікроструктури конструкційної сталі 20К слід виконувати хімічним травленням мікрошліфів в 4%-му розчині азотної кислоти на протязі 7 сек. При цьому співставлення розміру зерна d , згідно до стандартної класифікації і фрактальної розмірності границь зерен, D_c , дає майже лінійну залежність, що передбачає можливість використання D_c в інших розрахунках, зокрема при визначенні межі плинності згідно до рівняння Холла–Петча. Отже знайдений зв'язок між розміром зерна і фрактальною розмірністю дає можливість використовувати запрограмований метод фрактального аналізу, який полягає в обробці мікроскопічного зображення. Зображення обробляється програмою CALC.exe методом заповнених комірок і далі підраховується фрактальна розмірність. Наприклад, співставлення графіків напруження від числа циклів навантаження і фрактальної розмірності від числа циклів, надало можливість вважати метод фрактального аналізу актуальним для подальшої роботи із металом, як фрактальним об'єктом.

Наведено приклад об'єкта фрактальності границі зерна після трансформації вихідного зерна в мікроструктурі в інформаційну межу, що «запам'ятала» минулі критичні стани. При зіставленні фрактальної розмірності зруйнованих меж зерен з типами руйнування в'язким та крихким було показано, що для в'язкого руйнування, порівняно

з крихким притаманна менша фрактальна розмірність. Спостерігається тенденція збільшення фрактальної розмірності при зниженні температури для зразків із вертикальним і діагональним зламом.

Було виконано кількісний фрактальний аналіз меж зерен мікроструктури сталі ряду кисневих балонів з різним терміном експлуатації. Встановлено кореляційні зв'язки фрактальної розмірності границь зерен з ударною в'язкістю, руйнівним тиском і межею плинності. Знайдено відповідні рівняння регресії. Проаналізовано механізми руйнування, пов'язані з фрактальною розмірністю меж зерен. Так, показано, що фрактальна розмірність границь зерен сталі Дс кисневих балонів з термінами експлуатації від 18 до 52 років змінюється в межах від 1,10 до 1,14. Зафіксовано кореляційні зв'язки фрактальної розмірності з ударною в'язкістю, руйнівним тиском при гідравлічних випробуваннях і умовною межею плинності, з коефіцієнтами кореляції не нижче 0,80. Показано, що менша фрактальна розмірність границь зерен металу балонів відповідає більшому розміру зерен, низьким значенням ударної в'язкості й межі плинності, але високому руйнівному тиску при гідровипробуваннях. Подальше її збільшення супроводжується зростанням ударної в'язкості та межі плинності та зниженням руйнівного тиску. Відповідні кореляційні залежності мають вигляд кривих, що досягають насичення з ростом фрактальної розмірності зламів. Зокрема, відбувається перехід від крихкого транскристалітного відколу до квазівідколу та в'язко-крихкого руйнування.

Вивчено злами низьколегованої малоперлітної сталі контрольованого вальцювання після випробувань на ударний вигин та алюмінієвого дроту після втомного руйнування при різних температурах. Встановлено, що злами після крихкого руйнування мають фрактальні розмірності 1,20 та 1,15 для сталі та алюмінію, відповідно. Оцінено критичні розміри крихких тріщин на основі фрактальної моделі тріщини та визначених фрактальних розмірностей меж поверхонь руйнування. Критичний розмір фрактальних тріщин склав 4,5 та 6,75 мкм, відповідно, для сталі та алюмінію.

Представлені дані, щодо визначення опору ударному навантаженню зразків Шарпі, вирізаних в різних напрямках з трубчастого фрагменту зі сталі 20К товщиною 12 мм. Наведено діаграми, що відображають залежність прикладеного навантаження (P) від часу (τ) при ударних випробуваннях. Зіставлені фрактальні розмірності діаграм $P(\tau)$ і фрактальні розмірності зламів після ударних випробувань в діапазоні температур від мінус 50 °С до плюс 50 °С. Встановлено, що поведінка обох згаданих фрактальних розмірностей залежно від напрямку різання та температури випробування якісно збігається. Встановлено тенденцію зменшення фрактальної розмірності при більш в'язкому характері руйнування. Обговорюється вплив текстури.

Отже для вивчення експлуатаційного стану конструкцій запропоновано комплексний підхід, орієнтований на пошук кореляційних залежностей між фрактальними параметрами структури та показниками фізико-механічних властивостей матеріалів, зокрема текстурної обстановки, коерцитивної сили, механічних характеристик матеріалів, тощо.

В той же час сама по собі фрактальна параметризація на основі однієї лише середньої величини фрактальної розмірності не може кількісно визначати неоднорідність структури. Для більш детального опису поверхонь руйнування потрібне застосування мультифрактального підходу, що може бути темою майбутніх досліджень.

КОМПЛЕКСНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ГАЛУЗЕВИХ ЛАБОРАТОРІЙ ВІД КОМПАНІЇ ХІМЛАБОРРЕАКТИВ

Д.В. Козарчук

ТОВ «Хімлаборреактив», Бровари, Київської обл.

ХЛР (ТОВ «ХІМЛАБОРРЕАКТИВ») — це постачальник комплексних рішень для Ваших галузевих лабораторій. Компанія покриває всі задачі по контролю якості у промисловій сфері. У нас Ви знайдете все необхідне для лабораторій нафтогазової галузі та енергетики, гірничо-металургійного комплексу та машинобудування, хімічної та будівельної галузей.

Ми пропонуємо рішення для контролю якості на всіх стадіях технологічного процесу: від видобутку сировини до виробництва кінцевого продукту, від контролю технічних параметрів продукту до параметрів умов праці. Для вирішення поставлених завдань в нашому активі — значна матеріальна база й тісні партнерські відносини з кращими світовими виробниками лабораторного обладнання.

Кожна друга наша поставка — це унікальне рішення з методичною підтримкою. Крім цього ХЛР пропонує загальнолабораторне обладнання, обладнання для контролю навколишнього середовища та охорони праці, лабораторні меблі, посуд і реактиви, стандартні зразки і еталони, обладнання для лабораторій ПММ.

Компанія заснована в 1995 році. Тоді в штаті числилося усього 3 людини. Свій 25-річний ювілей ХЛР відзначила із командою, що налічувала 500 фахівців.

Експерти ХЛР максимально обізнані в задачах галузі та запропонують оптимальне рішення з нашого асортиментного портфелю. Вузькоспеціалізовані продакт-фахівці допомагають з деталями підбору обладнання, а персональний менеджер забезпечує якісне виконання на всіх етапах співпраці. Сервісна служба надає всю технічну та методичну підтримку.

Власне виробництво спеціальних меблів, величезні складські площі й налагоджена логістика дозволяють нам створювати достатній запас продукції й оперативно її доставляти.

Особлива гордість ХЛР — сучасний складський комплекс площею 17500 м², який не має аналогів на ринку постачальників лабораторної продукції. Тут впроваджена комп'ютерна система управління складом «WMS» (система адресного зберігання). Уся продукція зберігається в спеціальних умовах (теплий склад, контроль вологості, холодильні та морозильні камери). На екскурсіях для клієнтів Ви можете особисто дізнатися, як працює система, і перевірити умови зберігання продукції. Також до Ваших послуг наш спеціальний демозал для промислового обладнання, де ми демонструємо всю необхідну техніку.

Калібрувальна лабораторія ТОВ «ХІМЛАБОРРЕАКТИВ» отримала атестат про акредитацію № 40069 від Національного агентства з акредитації України. У нас Ви зможете якісно і в найкоротші терміни відкалібрувати термометричне обладнання.

Для впевненості в якості послуг, що надаються, в ХЛР впроваджена система менеджменту якості, що відповідає вимогам стандарту ISO 9001. Все обладнання, що ми поставляємо, відповідає національним ДСТУ та міжнародним ISO, ASTM, DIN, BS.

ШИРОГРАФІЧНА СИСТЕМА ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СТІЛЬНИКОВИХ ПАНЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАКУУМНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Л.М. Лобанов, О.П. Шуткевич, В.В. Савицький, І.В. Киянець

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

В різних галузях промисловості все частіше застосовуються різні тонколистові і тонкостінні багатошарові конструкції, які мають ряд переваг в порівнянні з одношаровими конструкціями. Застосування багатошарових панелей дозволяє зменшити масу конструкції завдяки ефективному розподілу матеріалу в окремих елементах. Одним з найбільш поширених типів багатошарових конструкцій є стільникові панелі (рис. 1).

Вони складаються з двох зовнішніх тонких обшивок і заповнювача, який розташований між ними. Такі конструкції мають високу міцність і жорсткість та часто працюють в умовах складного механічного впливу і температурних градієнтів. Проте, складна форма таких конструкцій потребує вдосконалення існуючих методів їх неруйнівного контролю якості. Безконтактний оптичний метод ширографічної інтерферометрії є одним з найбільш ефективних для визначення дефектних ділянок стільникових панелей, що виготовлені з різних конструкційних матеріалів. Метод ширографії має такі переваги, як наочність, безконтактність, висока чутливість, можливість виконання досліджень об'єктів складної форми та значних розмірів в реальному масштабі часу. На відміну від інших лазерних інтерферометричних методів він дозволяє безпосередньо от-

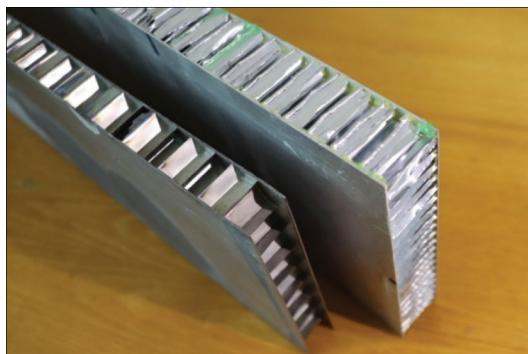


Рис. 1. Зовнішній вигляд стільникових панелей

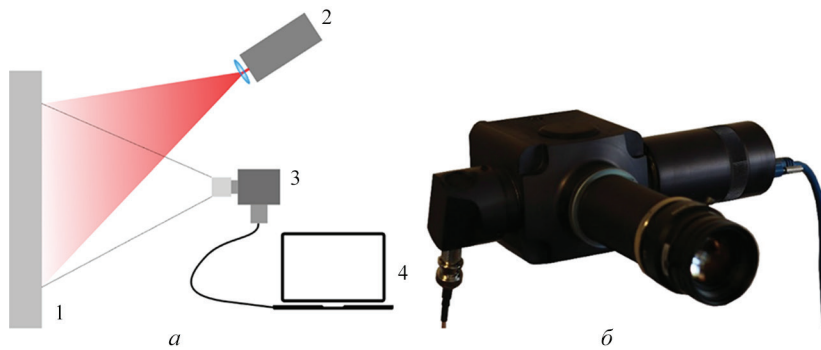


Рис. 2. Ширографічна вимірювальна система: *а* — блок-схема широкографічної системи: 1 — досліджуваний об'єкт; 2 — лазер; 3 — широкографічний інтерферометр; 4 — ноутбук; *б* — зовнішній вигляд широкографічного інтерферометра

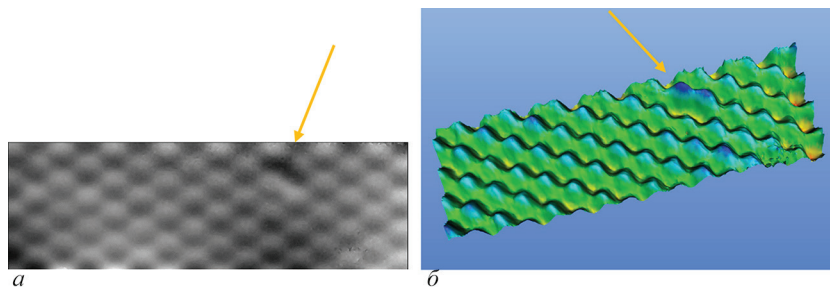


Рис. 3. Результати контролю якості елемента стільникової панелі, виготовленої з титанового сплаву: *а* — представлення деформування у градаціях сірого кольору, *б* — тривимірне подання деформування досліджуваної ділянки.

римати значення похідних від переміщень, що суттєво знижує його чутливість до вібрацій та дає можливість використання у промислових умовах.

Контроль якості методом широкографії полягає у наступному (рис. 2): спочатку досліджуваний об'єкт 1 освітлюється джерелом когерентного випромінювання 2, яке формує на його поверхні спекл-картину. Потім за допомогою широкографічного інтерферометра 3 реєструється початковий та кінцевий (після навантаження) стан поверхні. Розроблені алгоритми дозволяють в режимі реального часу визначити карту деформування поверхні, що виникає внаслідок термічного або механічного навантаження досліджуваної конструкції, та знаходити ділянки з внутрішніми дефектами.

При неруйнівному контролі якості елементів конструкцій методом широкографії важливим є оптимальний вибір навантаження, що дозволяє ефективно виявляти небезпечні внутрішні дефекти. На відміну від термічного методу навантаження, використання вакуумного дозволяє забезпечити рівномірне та автоматизоване навантаження всієї ділянки досліджуваної панелі.

Елементи стільникових конструкцій, що досліджувались у роботі, виготовлені з титанового сплаву методом пайки. При такому способі з'єднання сусідні кромки часто знаходяться у стані «прилипання». В умовах статичних або динамічних навантажень на ділянці такого дефекту з'являється розкриття країв, що може призвести до руйнування вузлів та конструкцій в процесі їх експлуатації. При тестуванні елементів титанових стільникових панелей використовували вакуумне навантаження. Для цього до поверхні досліджуваної ділянки прикладали спеціальну камеру та створювали вакуум до 0,5 атм при якому записували початкову картину. Потім знижували тиск в камері на величину 0,1–0,3 атм та записували зображення навантаженої поверхні. Зниження тиску спричиняло деформування поверхні, що дозволяло проявлятися на широграмі деформації кожної соти та візуалізовувало їх. Ширографічний контроль таких елементів оснований на реєстрації різниці у деформуванні при навантаженні бездефектного елемента і зони дефекту. На ділянках, де зруйновані зв'язки між сотами або на поверхні присутні інші види дефектів, на широграмі з'являється локальне аномальне деформування поверхні досліджуваних елементів.

На рис. 3 наведено результати широкографічного контролю елемента титанової стільникової панелі з використанням вакуумного навантаження та широосу в діагональному та вертикальному напрямках. На зображеннях видно візуалізований стільниковий наповнювач з приблизно однаковою періодичністю зміни амплітуди деформування та визначено локальну дефектну ділянку, де є порушення цієї періодичності (позначені стрілочками).

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Алещенко О.Г. 7, 37
Андрійченко О.О. 7, 23
Анисович А.Г. 10, 48

Бабак В.П. 10, 45
Баев А.Р. 10, 48
Бажуков А.В. 8, 19
Безлюдько Г.Я. 9, 27
Богачев І.В. 10, 46
Боклаг М.В. 8
Бондаренко О.Г. 9, 13, 29
Бородай О.С. 9, 63
Буйнова Є.О. 10, 47
Булах П.О. 9, 41

Верютін М.В. 7, 26
Воробйов Л.Й. 10, 45

Галаненко Д.В. 7, 23
Гаркун А.С. 10, 48
Глуховський В.Ю. 9, 13
Горбик В.М. 9, 63
Гориченко С.Ф. 10, 48
Гохфельд В.Л. 10, 47
Гребенніков В.М. 11, 49

Давидов Є.О. 10, 54
Демидко В.Г. 9, 17
Демченко С.В. 10, 51
Дереча В.Я. 7, 37
Дівесєв Б.М. 8, 14
Дмитрик В.В. 10, 53
Дмитрієнко Р.І. 10, 54
Дядін В.П. 10, 54

Журавльов С.В. 7, 14

Іващенко К.А. 7, 9, 37, 39

Казенов Н.П. (Казьонов М.П.) 8, 26
Карманов М.Н. 11, 64
Касьяненко І.В. 10, 53
Каток О.А. 10, 56
Киянець І.В. 9, 69
Ковальов Д.О. 11, 65
Козарчук Д.В. 7, 68
Козин А.Н. (Козін О.М.) 8, 16
Корнієнко О.С. 8
Костеневич О.С. 8, 19

Коцар Ю.І. 11, 49
Кравчук Р.В. 10, 56
Крень А.П. 10, 48
Крилов Е.С. 11, 57
Куліш В.А. 11, 57
Кухта І.Я. (Кухта І.Я.) 8, 26

Ластівка І.О. 9, 17
Литвиненко В.А. 9, 30
Личак О.В. 7(2), 43, 44
Лобанов Л.М. 9, 69
Луценко Т.М. 7, 18

Манорик П.А. 11, 49
Масло О.М. 9, 41
Махненко О.В. 8(3), 19, 21, 24
Махненко О.О. 8, 21
Мешков С.Н. 11(2), 59, 61
Михайлов С.Р. 11, 65
Мінаков А.С. 9, 39
Мінаков С.М. 9, 39
Міщенко В.П. 7(2), 23, 26
Мужиченко О.Ф. 8, 24
Мягкий А.В. 11, 59

Недосєка А.Я. 7, 14
Недосєка С.А. 7, 14
Несін В.В. 9, 25

Ободовський Б.М. 7, 14
Овсієнко М.А. 7, 14
Опанасенко А.В. 7, 26
Орел Р.П. 11(2), 59, 61

Павлій А.В. (Павлій О.В.) 7, 8(2), 16, 26
Павлій І.В. 8
Палій А.Н. 8, 19
Посипайко Ю.М. 9(2), 11, 29, 31, 49

Рабкіна М.Д. 9, 67
Разиграєв М.П. 8, 19
Рибак Н.І. 9, 67
Рибачук В.Г. 9, 27

Савицький В.В. 9, 69
Семенов П.О. 7, 44
Сергієнко Р.В. 10, 45
Середа А.В. 10, 56
Соломаха Р.М. 9, 27

Стецько І.Г. 7(2), 43, 44

Стороженко В.А. 11, 61

Сучков Г.М. 10, 51

Троицкий В.А. (Троїцький В.О.) 9(4), 11(2), 29, 30, 31, 63, 64, 65

Трохим Г.Р. 8, 33

Усов В.В. 9, 67

Учанін В.М. 7(2), 9(2), 27, 35, 37, 39

Хейфец М.Л. 10, 48

Хорошайло Ю.Е. 11, 59

Черкашин М.В. 8, 19

Черчик Г.Т. 8, 14

Шалаєв В.А. 11 64

Швець В.П. 9, 41

Шекеро А.Л. 9, 31

Шкатуляк Н.М. 9, 67

Шолоник В.Е. 10, 48

Штофель О.О. 9, 67

Шульженко О.В. 11, 49

Шуткевич О.П. 9, 69

Щупак С.О. 9, 42

Юзефович Р. М. 7(2), 8(2), 14, 33, 43, 44

Юрженко М.В. 10, 47

Яворський І.М. 7(2), 8, 33, 43, 44

Яременко М.А. 7, 14