

УДК 622.24.05

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ РЕНТГЕНІВСЬКОГО КОНТРОЛЮ

Л. А. Витвицька¹, З. Я. Витвицький², Х. З. Лаврук²

¹ *Івано-Франківський національний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15 м. Івано-Франківськ, 76019, e-mail: zarichna@iung.edu.ua*

² *Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 2, radiology@ifntu.edu.ua*

Проаналізовані основні параметри, які характеризують чутливість рентгенівського контролю, встановлено залежність якості видимого зображення об'єкта, отриманого на рентгенівській плівці, від її складу, властивостей та способів оброблення. Теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена удосконалена методика оброблення рентгенівської плівки, яка полягає у збудженні ультразвукових коливань в проявнику до і під час її проявлення, що приводить до істотного підвищення чутливості при меншому променевому навантаженні на об'єкт контролю.

Ключові слова: рентгенівська плівка, чутливість контролю, контрастність, оптична щільність, ультразвукові коливання, проявлення, час експозиції.

Проанализированы основные параметры, характеризующие чувствительность рентгеновского контроля, установлена зависимость качества видимого изображения объекта, полученного на рентгеновской пленке, от ее состава, свойств и способов обработки. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена усовершенствованная методика обработки рентгеновской пленки, которая заключается в возбуждении ультразвуковых колебаний в проявителе до и во время ее проявления, что приводит к существенному повышению чувствительности при меньшей лучевой нагрузке на объект контроля.

Ключевые слова: рентгеновская пленка, чувствительность контроля, контрастность, оптическая плотность, ультразвуковые колебания, проявление, время экспозиции.

The basic parameters that characterize the sensitivity of X-ray control are analyzed, the dependence of the quality of the visible image of the object obtained on the X-ray film, on the composition, properties and methods of treatment is established. An improved technique for handling X-ray film is theoretically substantiated and experimentally confirmed, which consists in excitement of ultrasonic vibrations in the developer before and during its manifestation, which leads to a significant increase in sensitivity with a lower radiation load on the object of control.

Key words: X-ray film, sensitivity of control, contrast, optical density, ultrasonic oscillations, manifestation, xposure time.

Вступ. На даному етапі розвитку науки і техніки неможливо обійтися без використання рентгенівського випромінювання як в промисловості, так і в медицині. В нафтогазовій промисловості саме радіографічний метод вважається найбільш інформативним, широко використовуваним. Зокрема за цим методом контролюються зварні шви магістральних трубопроводів, елементи бурового обладнання, арматури. На даний час радіаційний метод неруйнівного контролю є одним з основних для діагностики стану людського організму. Використовуються і стаціонарні, і переносні рентгенівські установки. Радіографічний метод контролю передбачає на кінцевому етапі

отримання зображення внутрішньої структури об'єкту на рентгенівській плівці. Отримання чіткого, видимого неозброєним оком, зображення на плівці є основним завданням для забезпечення якісного проведення неруйнівного радіаційного контролю об'єкту, тобто виявлення дефектів якомога менших розмірів і з можливістю диференціювання зображення хибних дефектів. Тому саме до якості рентгенівської плівки, а також до способу її оброблення ставляться підвищені вимоги для забезпечення високої чутливості контролю.

Основна частина

Рентгенівська плівка представляє собою нанесену на гнучку полімерну основу суміш кристалів галогенідів срібла (зокрема, броміду

срібла) з желатином. Саме фізико-хімічні властивості цієї суміші (фотоемulsії) відіграють найважливішу роль при її експонуванні, тобто просвічуванні рентгенівськими променями, пройденими через об'єкт, а також при проявленні на ній зображення внутрішньої структури об'єкта. Тому чутливість контролю залежить від оптимального використання цих властивостей фотоемulsії, а також від інтенсифікації фізико-хімічних процесів, які мають місце в шарах плівки.

Чутливість радіаційного контролю є багатопараметричним показником, оскільки залежить і від властивостей самої рентгенівської плівки і від умов отримання на ній видимого зображення об'єкта. Так, на якість зображення впливає зернистість плівки. Причина цього впливу полягає в нерівномірному розподілі проявлених зерен і їх накопичень в емulsії, а також в тому, що при візуалізації зображення виникає накладання зображень зерен, які знаходяться на різній віддалі від поверхні плівки. До підвищення зернистості плівки приводить збільшення тривалості проявлення плівки, а також більш висока жорсткість іонізуючого випромінювання. Також якість контролю визначається чутливістю плівки до випромінювання. Ця чутливість визначається як величина, обернена експозиційній дозі в рентгенах, при якій щільність почорніння експонованої плівки досягає 0,85 од. оптичної щільності. Реєстраційні властивості рентгенівської плівки визначаються за залежністю густини почорніння плівки від експозиції.

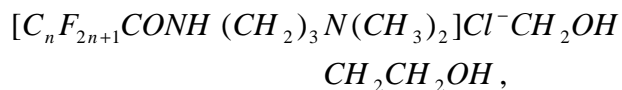
Фірма виробники рентгенівських плівок визначають оптимальні умови їх використання. Для кожного типу плівки вказується її чутливість, рецептура або тип проявника, температура проявлення, а також енергія рентгенівського випромінювання, для якої визначена чутливість плівки [1]. Так, для виявлення дрібних тріщин у зварному з'єднанні найбільш доцільно використання плівок типу РТ-4. Раковини у товстостінних сталевих відливках найкраще будуть виявлені за допомогою крупнозернистої плівки типу РТ-2 з застосуванням підсилюючих екранів [2]. Оброблення експонованої рентгенівської плівки включає її проявлення, промивання проточною водою і фіксування. На даний час промисловістю випускаються готові набори хімікатів: стандартні проявник, відновлювач і фіксатор, виготовлені із інгредієнтів високої кондиції, розчинених у дистильованій воді. Однак проявлення в такому проявнику з

дотриманням вказаних у довідниках стандартних значень температури і часу проявлення у багатьох випадках не забезпечує необхідну чутливість плівки при відносно високій щільності вуалі а, значить, знижує якість рентгенографічного контролю. Щоб досягти підвищення чутливості потрібно збільшити час (експозицію) просвічування, що приводить до зниження продуктивності контролю, а також є негативним фактором для персоналу, який працює з джерелом випромінювання, а в медицині і для пацієнтів. Чутливість плівки не тільки залежить від її властивостей, але також від умов отримання зображення, тобто від умов проходження низки складних фізико-хімічних процесів експонування, проявлення, відновлення, промивання і закріплення.

Всі відомі методи оброблення рентгенівської плівки базуються на одному фізичному принципі, який визначається взаємодією світла або рентгенівського випромінювання з фотоемulsією плівки. В кристалах галогеніду срібла квант світла викликає внутрішній фотоефект – електрони відриваються від іонів галогену. При цьому проходить фотохімічна реакція, яка завершується утворенням частинок металевого срібла і газу в молекулярній формі. Колір кристалу $AgBr$ починає змінюватися, з'являється бурий відтінок, в результаті чого утворюється так зване приховане зображення (бром зв'язується желатиною емulsії, а металеве срібло утворює центри прихованого зображення). Це зображення ще не можна виявити візуально, оскільки кожний атом металевого срібла і його електрони ще не до кінця втратили свою індивідуальність і володіють деякою незалежністю поведінки по відношенню до всіх решти атомів і електронів, тобто в прихованому зображенні атоми металевого срібла ще не повністю є металом з кристалічною решіткою та металевою провідністю. Однак, фотохімічно утворені атоми срібла є каталізатором відновлення всього кристалу і саме присутністю або відсутністю такого каталізатора визначається відмінність, яку проявник робить між експонованими і неекспонованими кристалами емulsії. Процес проявлення полягає в передачі електронів від проявляючої речовини до галогеніду срібла. При хімічному проявленні кількість атомів металевого срібла поблизу центру прихованого зображення збільшується в $10^9 - 10^{11}$ раз, що призводить до почорніння рентгенівської плівки, і приховане зображення стає явним. Подальше оброблення проявленого зображення лугом, сульфідом натрію, антивуальною

речовиною проводиться для забезпечення проведення реакції проявлення з постійною швидкістю та стабілізації при зберіганні. Саме процес проявлення в найбільшій мірі визначає основні фотографічні показники. В залежності від рецепта проявника та від режимів його використання можна отримати різні результати за коефіцієнтом контрастності, оптичною щільністю вуалі. До проявників ставляться вимоги відновлюваної, вибіркової властивостей та розчинності у водних розчинах.

Відомий спосіб підвищення рентгенографічної чутливості, який полягає у тому, що в стандартний проявник, основними складниками якого є метол, гідрокінон, сульфід натрію, натрій вуглекислий, калій бромистий, додають сполуку, що виконує роль активатора формула якого є такою [3]:



де n = 6 або 8. Процеси відновлення і фіксування плівки стандартні. Даний активатор підвищує якість проявлення, однак цей спосіб оброблення пов'язаний із значною трудомісткістю приготування вказаної сполуки і тому з неможливістю його використання в промислових умовах чи в медичних закладах.

Також описаний спосіб електрохімічного оброблення дистильованої води перед розчиненням в ній стандартних інгредієнтів проявника, відновника та фіксатора [4]. При цьому вода має значення кислотності рН=9÷11. Але електрохімічне оброблення дистильованої води є також досить трудомістким процесом. Крім того, така кисла вода спричиняє до часткового відновлення в металеве срібло кристалів галоїдного срібла, на які не діяло іонізуюче випромінювання. Тобто виникає почорніння плівки і в неекспонованих місцях - негативне підвищення щільності вуалі оброблюваної плівки.

Нами запропоновано використовувати ультразвукові коливання при стандартних операціях проявлення, промивання і фіксування плівки для підвищення рентгенографічної чутливості плівки із зниженням щільності вуалі [5].

Метою даної роботи є експериментальне дослідження практичної реалізації способу інтенсифікації процесів проявлення рентгеновської плівки і встановлення значення отриманого при цьому позитивного ефекту.

Були проведені дослідження дії ультразвукових коливань різних діапазонів частоти (200 – 500 кГц і 1 – 2,5 МГц) на окремі

складові шарів рентгеновської плівки: підложку з ацетоцелюлози, фотоемульсію і желатин. Найбільший вплив ультразвуку на зміну структури матеріалу було виявлено саме для фотоемульсії. Цим і пояснюється покращення контрастності видимого зображення на плівці при її обробленні ультразвуком під час проявлення.

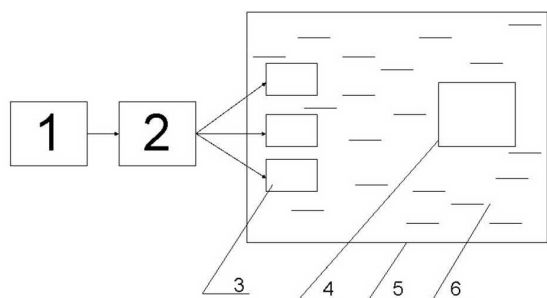
Дія ультразвукових коливань при проявленні плівки пояснюється більш інтенсивним перемішуванням молекул проявника з зернами фотоемульсії [2]. Фотографічна емульсія зазвичай представляє собою тонкий шар галоїдного срібла, розчиненого в желатині. Середній діаметр мікрокристалів для рентгеновської плівки 1,8 мкм. Для порівняння середній діаметр мікрокристалів дрібнозернистої плівки 0,7 мкм. Емульсія наноситься на підложку з нітро- або ацетоцелюлози, прозорої для видимого спектру випромінювання. Товщина плівок, призначених для рентгенографії, складає 5-20 мкм, що відповідає відношенню маси AgBr до одиниці площі 0,7-3,5 мг/см². Поверхня емульсії покривається захисним шаром желатини товщиною 0,5-1 мкм, що відповідає близько 0,1 мг/см². Поверхневий шар желатини запобігає пошкодженню основного шару емульсії і забезпечує легкий доступ проявника до експонованої емульсії. Желатину одержують з колагену одного з природних форм білків, нерозчинних у воді [1].

Для отримання ультразвукових коливань достатньої потужності були використані паралельно з'єднані декілька п'єзопластин, під'єднаних до генератора, потужністю не менше 1,5 Вт.

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою для проявлення рентгеновської плівки при обробленні проявника ультразвуковими коливаннями, в яку входить блок керування 1, генератор ультразвукових коливань 2, до якого під'єднанні паралельно три випромінювачі 3, які розташовані разом з рентгеновською плівкою 4 в кюветі 5, яка заповнений проявником 6. Для задання тривалості оброблення до генератора під'єднаний блок керування з таймером 1.

Оскільки стінки пластмасової кювети є відбивачами ультразвукових хвиль, то найбільш інтенсивне перемішування частинок проявника, а отже і взаємодія їх з фотоемульсійним шаром плівки буде при розміщенні випромінювачів вздовж однієї з менших бокових стінок, так як в цьому випадку спостерігається найбільша інтерференція ультразвукових хвиль, яку навіть видно неозброєним оком на поверхні

проявника. Потужність ультразвукового випромінювання, а також час попереднього оброблення проявника залежать від об'єму останнього і від температури оточуючого середовища. Так, при температурі $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ для проявлення плівки в стандартній кюветі і проявнику протягом 10-15 хвилин попередньо і під час оброблення збуджувались неперервні ультразвукові коливання частотою 2,5 МГц.



1-блок керування; 2-генератор; 3-випромінювач; 4-плівка; 5-кювета для проявлення; 6-проявник

Рисунок 1 - Структурна схема пристрою для проявлення рентгенівської плівки при обробленні проявника ультразвуковими коливаннями

Як при стандартному процесі проявлення, так і при пропонованому з використанням ультразвукових коливань використовувались одні і ті ж підсилюючі екрани. Проявник використовувався завжди свіжий без повторного використання. Промивання і фіксування плівок проводились стандартно. При цьому чутливість рентгенографічного контролю визначалась величиною коефіцієнта щільності експонованої плівки (чим вищий коефіцієнт щільності, тим вища чутливість), а щільність вуалі визначалась за коефіцієнтом пропускання неекспонованої плівки (чим вищий коефіцієнт пропускання, тим нижча щільність вуалі).

Досягнення позитивного ефекту при використанні запропонованого способу підтверджується результатами визначення оптичної щільності проявлених в різних умовах проявлення. Щільність вимірювалась за допомогою цифрового денситометра.

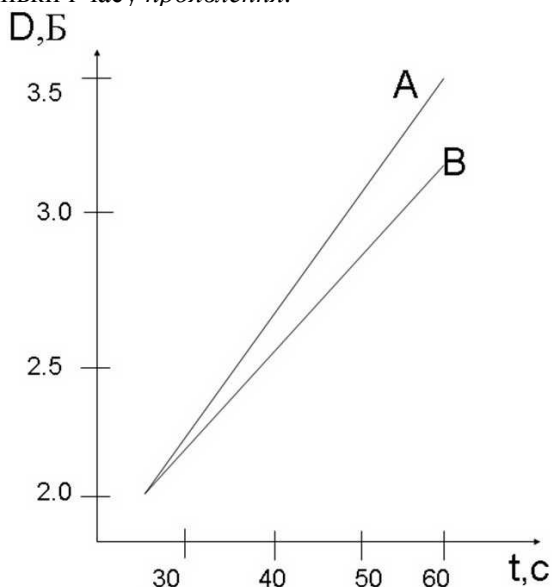
Результати вимірювання коефіцієнтів щільності рентгенівських знімків, отриманих при різному часі експонування і однакових силі струму (50 мА) і напрузі (45 кВ) та в результаті проявлення в стандартному і в обробленому ультразвуком проявнику, наведені в табл. 1.

Коефіцієнт пропускання неекспонованої плівки після проявлення її в стандартних умовах був рівний 303, а з опроміненням ультразвуком – 332, тобто щільність вуалі знизилась.

Таблиця 1 – Результати вимірювання коефіцієнтів щільності рентгензнімків в залежності від часу експонування

Час експонування, с	Коефіцієнт щільності		Відносне зростання коефіцієнта, %
	Проявлення в стандартних умовах	Проявлення з використанням ультразвуку	
0,01	0,030	0,094	213
0,02	0,115	0,137	19%
0,03	0,316	0,367	16%
0,04	0,438	0,467	6%
0,05	0,615	0,659	7%
0,06	0,729	0,804	10%
0,07	0,919	1,059	15%
0,1	1,177	1,434	21%

На рис. 2. показані результати експериментів у вигляді двох графіків залежності оптичної щільності рентгенівської плівки і часу проявлення.



A-під дією ультразвуку; B-без ультразвуку

Рисунок 2 - Залежність оптичної густини від часу проявлення

Як видно з рисунка, при обробленні проявника ультразвуком зменшується час проявлення і істотно підвищується оптична

щільність. Так, при часі проявлення 50 с щільність підвищилася на 22%.

Висновки

Отже, використання ультразвуку для проявлення рентгенівської плівки як в техніці, так і в медицині дає можливість істотно підвищити чутливість рентгенівського контролю, зменшити час променевого навантаження на об'єкт контролю та на оператора та зменшити тривалість оброблення плівки.

1. Антухов А. А. Рентгенотехника: Справочник / А.А. Антухов, А. В. Анисович, Х. Бергер. – М.; Машиностроение, 1992. - 368 с. 2. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник/ І. П. Білокур. - К.: “Азимут Україна”, 2004. – 406 с. 3. А.с.

СССР №1080109 “Проявитель негативных галогенсеребряных черно-белых пленок», 4. А.с. СССР №1037202 “Способ обработки рентгеновской медицинской пленки” 5. Пат. 62209 Україна, МПК G03C5/30 Спосіб обробки рентгенівської плівки і пристрій для його реалізації / Рижик В.М., Витвицький З.Я., Кісіль І.С., Витвицька Л.А., Павлій О.В. (Україна); заявл.30.01.2003; опубл.5.12.2003, Бюл. № 12. — 4 с.

Поступила в редакцію 26.09.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Костишин В. С., докт. техн. наук, проф. Середюк О. Є.