

НОВЕ ПОКОЛІННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КАПІЛЯРНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ І МЕТОДИ ОЦІНКИ ЇХ ЯКОСТІ

© Казакевич М. Л., Яшина Н. І., 2003
Державне підприємство „КОЛОРАН” НАН України, м.Київ

© Кісіль І. С., Витвицька Л. А., Боднар Р. Т., 2003
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Описано нові види пенетрантів для капілярної дефектоскопії, методи і засоби контролю їх властивостей, приведено результати вимірювань та визначено оптимальні значення параметрів новостворених пенетрантів.

Неруйнівний контроль матеріалів і виробів методом проникаючих речовин знайшов широке застосування при виготовленні, експлуатації та ремонті найбільш відповідальних деталей та вузлів авіаційної техніки, енергетичного та нафтохімічного обладнання тощо. Простий у виконанні, не вимагаючий складного спеціального обладнання капілярний контроль дозволяє виявити поверхневі дефекти з шириною розкриття, що вимірюються десятими долями мікрона. В цьому плані метод капілярної дефектоскопії має суттєву перевагу серед інших методів неруйнівного контролю [1-5].

До проникаючих речовин (пенетрантів), що використовуються при капілярній дефектоскопії, ставляться підвищені вимоги стосовно їх пожежо- та вибухостійкості, високої температури спалаху (для використання в закритих приміщеннях), інтенсивності забарвлення. Продуктивність і чутливість контролю в значній мірі визначаються поверхневими властивостями пенетрантів [1-2]. Тому при оцінці якості пенетрантів визначається їх здатність змочувати досліджувану поверхню, проникати у мікротріщину для забезпечення максимального транспортування розчину всередину дефекту, утримувати концентрацію і легко виходити на поверхню при проявленні. Ця здатність кількісно характеризується коефіцієнтом поверхневого натягу σ , краєвим кутом змочування θ та динамічною в'язкістю μ . Пожежостійкість визначається за температурою спалаху, колірність – за коефіцієнтом екстинції.

У зв'язку із зростаючою різноманітністю

виробів і матеріалів, які необхідно контролювати, виникає необхідність у розробці нових рецептур вітчизняних пенетрантів з підвищеними якісними показниками. При цьому значну складність викликає відсутність єдиних критеріїв оцінки якості пенетрантів в силу значної кількості показників, що їх характеризують, та їх взаємної залежності. На даний час засобами вимірювальної техніки, що випускаються промисловістю, вимірюється в'язкість проникаючих рідин, інші два вищевказані параметри, що характеризують поверхневі властивості, визначаються різними опосередкованими методами без забезпечення достатньої точності вимірювання [6].

В даній роботі представлені результати теоретичних та експериментальних робіт, що були виконані при співпраці співробітників Державного підприємства „КОЛОРАН” Національної Академії наук України і кафедри „Методи та прилади контролю якості та сертифікації продукції” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (МПКЯ і СП ІФНТУНГ). На підприємстві „КОЛОРАН” розроблено ряд екологічно чистих і пожежобезпечних пенетрантів для капілярної дефектоскопії. Співробітниками кафедри МПКЯ і СП ІФНТУНГ проведено дослідження якісних характеристик цих пенетрантів і теоретично узагальнено критерії їх оцінювання.

При виготовленні пенетрантів необхідно розв'язати багатоцільову задачу по визначенню оптимальних значень вищевказаних параметрів у, θ , μ . Для досягнення необхідної змочуваності

пенетрантом поверхні об'єкта контролю крайовий кут змочування (ККЗ) повинен бути близьким до нуля. Пенетранти застосовуються для контролю металевих, керамічних та полімерних виробів. Метали та їхні окисли відносяться до речовин з високоенергетичною поверхнею, які мають відносно великі значення коефіцієнта поверхневого натягу на межі тверде тіло-газ ($\sigma_{mz} = 200 \dots 600 \text{ мН/м}$). Це означає, що $\sigma_{mz} \gg \sigma_p$ (де $\sigma_p = 20 \dots 70 \text{ мН/м}$ - коефіцієнт поверхневого натягу σ_{mz} пенетрантів). В такому випадку із рівняння Юнга [2]

$$\sigma_p \cdot \cos I = \sigma_{mz} - \sigma_{mp}, \quad (1)$$

де σ_{mp} - коефіцієнт міжфазного натягу на межі тверде тіло-рідина, значення якого є проміжним між σ_{mp} і σ_p , отримаємо, що

$$\cos I = \frac{\sigma_{mz} - \sigma_{mp}}{\sigma_p} > 0. \quad (2)$$

Таким чином металеві вироби відносяться до об'єктів, які змочуються пенетрантами. Для високоенергетичних поверхонь металів залежність $\cos I = f(\sigma_p)$ є нелінійною. На практиці для прогнозування змочування користуються різними емпіричними ознаками, які встановлюються шляхом узагальнення великої кількості експериментальних даних або на основі наближеного аналізу залежності величини σ_{mp} від природи контактуючих фаз. Емпіричні ознаки змочуваності не можуть застосовуватись для будь-яких поєднань рідин і твердих тіл, а тільки для цілком певних умов. Величина σ_{mp} характеризує різницю сил взаємодії між молекулами в кожній із контактуючих фаз. Чим більше відрізняються по своїй природі ці сили, тим більшим повинен бути міжфазний поверхневий натяг σ_{mp} . Навпаки, для фаз, які є близькі за природою сил взаємодії між частинками кожної фази, величина σ_{mp} є порівняно невеликою, що приводить до зростання $\cos I$ згідно (2), тобто до покращення змочуваності. Для речовин з низьким поверхневим натягом силу молекулярних взаємодій характеризують їхньою полярністю. При контакті речовин з близькою полярністю міжфазний натяг буде порівняно невеликим, тобто змочування буде достатньо добрим. Але ця емпірична ознака зрівнювання полярності фаз є якісною і не дає кількісної оцінки змочування.

Тому для оцінки ефективності пенетрантів при контролі металевих поверхонь потрібно

експериментально визначати показник змочування для кожної пари взаємодіючих твердих тіл і рідин.

Продуктивність контролю в значній мірі залежить від часу заповнення пенетрантом порожнини дефекту та часу проявлення. Час заповнення наскрізної тріщини радіусом r описується такою наближеною залежністю [2]:

$$t = \frac{2\mu}{r\sigma \cos \Theta} l^2, \quad (3)$$

де l - пройдений пенетрантом шлях в тріщині, μ - динамічна в'язкість пенетранту. Отже для зменшення часу заповнення необхідно збільшити значення поверхневого натягу і зменшити в'язкість пенетранту. Однак зменшення в'язкості приводить до зниження температури спалаху. Тому для оцінки якості пенетранта необхідно визначити оптимальні значення вищевказаних параметрів, які поєднані між собою.

Теоретичне узагальнення було здійснене на основі вимірних значень параметрів пенетрантів, виготовлених за різними рецептурами. Значення динамічної в'язкості розраховувалось за вимірним за допомогою віскозиметра ВПЖ-4 (ГОСТ 10028-81) значенням кінематичної в'язкості та вимірним за допомогою ареометра значенням густини.

Вимірювання поверхневого натягу та крайового кута змочування (ККЗ) здійснювалось за допомогою засобів, розроблених і виготовлених в ІФНТУНГ [7,8,9]. Значення поверхневого натягу паралельно вимірювалось за допомогою приладів ППНЛ-1 і ВПН-1. Прилади відрізняються не тільки конструктивним виконанням та призначенням, але й методами, які лежать в основі їх роботи. Так, прилад ППНЛ-1 вимірює поверхневий натяг за максимальним тиском в газовому пухирці, який витискується із каліброваного капіляру, що занурений на певну глибину в досліджувану рідину. За допомогою приладу ВПН-1 натяг визначається на основі вимірюваного значення максимального зусилля, прикладеного для протягування платиного кільця через досліджувану поверхню розділу рідина-повітря. Похибки вимірювання поверхневого натягу даними приладами не перевищують 1,5%.

Значення крайового кута змочування вимірювалось за допомогою приладу ВКЗ-1, в основі роботи якого закладено оптичне вимірювання розмірів краплі досліджуваного розчину на відповідній поверхні. Похибка приладу не перевищує 2,5%, що є цілком достатнім для дослідників, враховуючи те, що в меридіональному перерізі краплі досліджуваної рідини на поверхні твердого тіла вимірюється ККЗ тільки в двох

діаметрально розміщених точках із всієї нескінченної множини точок по всьому периметру основи краплі, в яких значення ККЗ можуть суттєво відрізнятися в силу різного роду мікро-неоднорідностей поверхні. Проте при дослідженні змочування твердих тіл пенетрантами на основі швидковипаровуваних компонентів похибка вимірювань зростає і буде тим більшою, чим більшою буде швидкість випаровування пенетранта, а в окремих випадках вимірювання ККЗ здійснити

неможливо в силу швидкого випаровування крапель пенетранту. Це поставило задачу розробити новий швидкісний метод вимірювання ККЗ і в даний час авторами ця задача вирішується. Вищевказані прилади ППНЛ-1 і ВПН-1 вимірюють динамічний поверхневий натяг, тому у них відсутня похибка, пов'язана з випаровуванням пенетранту.

В табл.1 наведені складові пенетрантів та виміряні їх параметри.

Таблиця 1 – Складові пенетрантів та їх параметри

Найменування складових, показник	Суміш 1, %	Суміш 2, ваг. %	Суміш 3, ваг. %	Суміш 4, ваг. %	Суміш 5, ваг. %	Суміш 6, ваг. %	
Основний малиновий	4	4	4	4	4	4	
Органічна кислота	5	5	5	5	5	5	
Ізопропіловий спирт	40	40	40	40	20	20	
Бензилбензоат	20	20	20	20	20	20	
Етиленгліколь	31		31			45	
Диетилфталат		31			51		
Пропіленгліколь			31				
Бутиленгліколь				31			
Фреон						6	
<u>Параметри</u>							
Температура спалаху, °С	98	76	68	30	32	100	
Динамічна в'язкість, мПа·с	17,294	5,7	13,92	12,383	8,753	23,757	
Поверхневий натяг, мН/м	30,4	25,3	28	28	29,8	29,9	
Крайовий кут змочування на поверхнях металів, град	Сталь	11	15	12	13	21	18
	Латунь	11	8	14	22	19	19
	Алюміній	10	11	16	14	18	14
Найменування складових, показник	Суміш 7, ваг. %	Суміш 8, ваг. %	Суміш 9, ваг. %	Суміш 10, ваг. %	Суміш 11, ваг. %		
Основний малиновий	4	4	4	4	4		
Органічна кислота	5	5	5	5	5		
Ізопропіловий спирт	20	30	30	20	40		
Бензилбензоат	20		20	20	10		
Етиленгліколь	51	61	41	45	37		
Диетилфталат							
Пропіленгліколь							
Бутиленгліколь							
Фреон							
<u>Параметри</u>							
Температура спалаху, °С	22	82	100	23	86		
Динамічна в'язкість, мПа·с	17,67	15,082	20,207	13,575	10,238		
Поверхневий натяг, мН/м	30,6	29,6	31,1	28,7	27,1		
Крайовий кут	Сталь	19	9	27	24	19	

змочування на поверхнях металів, град	Латунь	19	20	32	20	17	
	Алюміній	14	11	22	18	6	

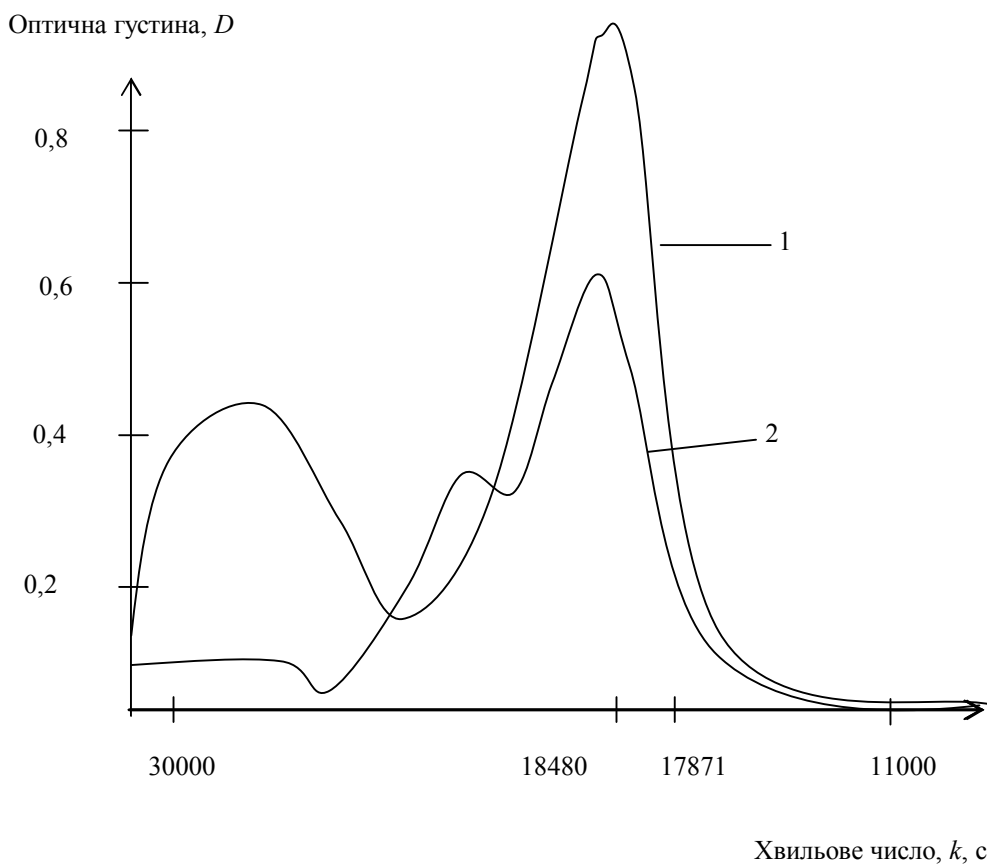
На основі табл.1 зроблено висновок про те, що оптимальні значення параметрів пенетрантів є наступні: коефіцієнт поверхневого натягу в межах 20 - 27 мН/м, крайовий кут змочування повинен бути меншим 20°, динамічна в'язкість – не більше 10 мПа·с.

У ДП „КОЛОРАН” синтезовано спеціальний барвник „основний малиновий”, який відповідає вищенаведеним критеріям, має високу розчинність, легко виводиться водою з металевих поверхонь, відноситься до нетоксичних речовин, має високий коефіцієнт екстинції (біля 55000). Для порівняння на рис.1 наведені електронні спектри поглинання розведених в однакових умовах розчинів пенетрантів виробництва ДП „КОЛОРАН”(крива 1) та фірми „KOWOTEST” (Німеччина) (крива 2). Спектри записувались на спектрофотометрі Spereord M-40. Як видно з рис.1, оптична густина вітчизняного пенетранту на основі новоствореного барвника є вдвічі більшою, що і підтверджує високий коефіцієнт екстинції.

Універсальність даного барвника полягає в

тому, що він має катіонну природу і утворює солеподібні сполуки як з неорганічними аніонами, так і з аніонами жирних та інших органічних кислот. Це дозволяє змінювати складові пенетрантів на основі даного барвника, використовуючи як розчинник або воду, або органічні розчинники. Так були створені нові пенетранти ЦЖ-1, ЦЖ-2, ЦЖ-3, рецептура яких та основні характеристики наведені в табл.2. Для порівняння в цій же таблиці подані аналогічні характеристики гасу, який складає основу пенетрантів, що використовуються на даний час.

Пенетрант ЦЖ-3 пройшов випробування на федеральному державному унітарному підприємстві ВІАМ (м. Москва, Росія), де було встановлено, що чутливість капілярного контролю із застосуванням даного пенетранту є вищою за другий клас чутливості згідно з ГОСТ 18442-80 і дозволяє достовірно виявляти дефекти з шириною розкриття не меншою 0,5 мкм.



1 – виробництва ДП "Колоран" ІФХ НАНУ; 2 – виробництва "Kowotest" (Німеччина)

Рис. 1. Спектри поглинання розчинів барвників

Таблиця 2 – Складові сумішей пенетрантів вітчизняного виробництва та деякі їх характеристики

Пенетрант	Складові сумішей, ваг %	Поверхневий натяг, мН/м	Крайовий кут змочування, кут. град			Динамічна в'язкість, мПа с
			Сталь	Латунь	Алюм.	
<u>ЦЖ-1</u> 1) "основний малиновий" 2) ПАР 3) вода дист.	4 2 94	35,6±0,5	27±2	22±2	22±2	1,148
<u>ЦЖ-2</u> 1) "основний малиновий" 2) ПАР 3) суміш спиртів	4 2 94	23,4±0,3	13±2	8±2	9±2	4,925
<u>ЦЖ-3</u> 1) "основний малиновий" 2) ПАР 3) гас	5 1 94	24,5±0,4	13±2	13±2	15±2	5,956

Гас	100	24±0,4	5±2	5±2	5±2	1,8
-----	-----	--------	-----	-----	-----	-----

Випробування корозійної активності нових дефектоскопічних матеріалів, що були використані для досліджень на авіаційному комплексі „Антонов”, показали відсутність виникнення корозії на алюмінієвих, титанових і сталевих сплавах, які застосовуються в авіації.

Таким чином, розроблені критерії оцінювання якості пенетрантів дали можливість створити принципово нові за хімічним складом вітчизняні пенетранти, які відповідають вимогам стандартів з капілярного контролю та з охорони довкілля і безпеки життєдіяльності людини.

1. Боровиков А.С., Депель А.К. *Технология и аппаратура капиллярной дефектоскопии.* – М.: Машиностроение, 1980.– 323с. 2. Боровиков А.С. *Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии.* – Минск, Наука и техника, 1983,- 256 с. *Контроль неразрушающий. Цветной метод контроля сварных соединений, наплавленного и основного металла. ОСТ 26-5-88.* Боровиков А.С.

Основные положения, материалы, технологические процессы. Конспект лекций. КМУГА. – К., 199., - 142 с. Боровиков А.С. *Капиллярная дефектоскопия. Технологические средства контроля, стандартизация. Конспект лекций. КМУГА.* – К., 1999.– 142с. ТУУ 21585720-050-99. *Технические условия Украины Жидкости ЦЖ малиновые проникающие для цветной дефектоскопии.* Кісіль І.С. *Визначення поверхневого натягу рідин на основі вимірювання максимального тиску в газовому меніску // Методи та прилади контролю якості.* 1997. - №1.– С.50-55. Боднар Р.Т. *Визначення крайового кута змочування на границі розділення тверде тіло-рідина методом максимального тиску в газовому пухирці// Методи та прилади контролю якості.* 1997. - №1. – С.50-58. Витвицька Л.А. *Аналіз впливу основних чинників на точність вимірювання поверхневого натягу розчинів поверхнево-активних речовин методом витягування кільця// Методи та прилади контролю якості.* 1997. - №1 – С.67-70.