

АНАЛІЗ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЙ КАПІЛЯРНОГО КОНТРОЛЮ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ

Ю.М. Посипайко, С.О. Щупак

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: posypaiko.yurii@gmail.com

Процес гармонізації в Україні стандартів Європейського Союзу, що розпочався 2000-х роках, призвів до появи в галузі неруйнівного контролю якості металопродукції біля сотні нових нормативно-технічних документів і відміни раніше діючих. Система стандартизації в Україні характеризується певною закритістю: відсутність офіційних текстів стандартів українською мовою, платний доступ до бази стандартів, відсутність інколи будь-яких текстів офіційно прийнятих документів. Це призвело до недостатньої обізнаності фахівців щодо вимог діючих стандартів. У цій статті виконано аналіз основних вимог і положень міжнародних стандартів у галузі капілярного контролю, одного з часто застосовуваних видів неруйнівного контролю, що проводиться для виявлення несущільностей, таких як тріщини, плівки, складки, пористість і спаї, які виходять на поверхню контрольованого матеріалу. Контроль застосовується переважно до металевих матеріалів, однак може застосовуватися й для контролю інших матеріалів за умови, що вони є інертними до впливу дефектоскопічних матеріалів, а також не занадто пористі (відливки, поковки, зварні шви, кераміка тощо). Бібліогр. 15, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: неруйнівний контроль, капілярний контроль, стандарти, вимоги, пенетрант, очисник, проявник, чутливість, обладнання

Вступ. На початку 2000-х років в Україні розпочався процес гармонізації стандартів Європейського Союзу в галузі неруйнівного контролю якості металопродукції. Ці стандарти, у більшості випадків, були підготовлені Технічним комітетом CEN/TC 138 «Неруйнівний контроль», секретаріат якого веде AFNOR, у співпраці з технічним комітетом ISO/EC 135 «Неруйнівний контроль». На сьогодні в Україні діють у якості ДСТУ практично всі стандарти в галузі неруйнівного контролю, що охоплюють всі види та методи випробувань.

У капілярному контролі перші місця в переліку стандартів займають шість документів серії EN ISO 3452 Non-destructive testing. Penetrant testing. Part 1–6 [1–6]. Ці стандарти встановлюють вимоги до капілярного контролю, що проводиться для виявлення несущільностей, таких як тріщини, плівки, складки, пористість і спаї, що виходять на поверхню контрольованого матеріалу. Контроль застосовується переважно до металевих матеріалів, однак може застосовуватися й для контролю інших матеріалів за умови, що вони інертні до впливу дефектоскопічних матеріалів, а також не занадто пористі (відливки, поковки, зварні шви, кераміка тощо). Стандарти також містять вимоги до випробувань процесів і контрольних випробувань, але не передбачають їх використання в якості критеріїв приймання, а також не дають інформації стосовно придатності для спеціальних випадків застосування чи вимог до випробувального обладнання. Далі ми розглянемо основні вимоги стандартів до технології та матеріалів капілярного контролю. Тер-

міни та їх визначення, що використовуються в капілярному контролі, наведені в EN ISO 12706 [7].

Вимоги безпеки. Оскільки при капілярному контролі часто використовуються речовини, що містять небезпечні для здоров'я, легкорозчинні та/або леткі компоненти, потрібно дотримуватися необхідних заходів безпеки. Слід уникати тривалого або багаторазового контакту шкіри чи слизових оболонок із засобом контролю. Відповідно до місцевих інструкцій з техніки безпеки робоче місце має бути забезпечене належною вентиляцією та розташоване на відстані від джерел тепла, іскор чи відкритого полум'я.

Дефектоскопічні матеріали для капілярного контролю та обладнання потрібно використовувати в суворій відповідності до інструкцій виробника.

При застосуванні фільтрованих джерел ультрафіолетового світла потрібно вживати заходів, щоби в очі контролера не потрапляло пряме нефільтроване ультрафіолетове випромінювання. Незалежно від того, чи є фільтр складовою частиною лампи, чи окремим компонентом, він має утримуватися в належному стані. Крім того, потрібно дотримуватися законодавчих вимог (наприклад, Директива 2006/25/ЕС), необхідно забезпечити безпечно впровадження методу.

Вимоги до персоналу. Капілярний контроль повинен виконувати професійний, спеціально навчений і атестований персонал, у разі потреби під наглядом компетентних фахівців, призначених роботодавцем, або за делегуванням таких прав роботодавцем, уповноваженою інспекційною ком-

Посипайко Ю.М. – <https://orcid.org/0009-0008-1441-3961>

© Ю.М. Посипайко, С.О. Щупак, 2024

панією. Для підтвердження належної кваліфікації рекомендовано, щоби персонал був сертифікований відповідно до EN ISO 9712 [8] або до іншої еквівалентно формалізованої системи. Допуск до роботи атестованого персоналу видає роботодавець відповідно до документованої процедури.

Загальний опис етапів контролю. Перед початком капілярного контролю контрольована поверхня має бути очищена та висušена. Потім на зону контролю наносять підходящий пенетрант, що проникає у несучільності, які мають вихід на поверхню. Після завершення необхідного часу у проникнення надлишки пенетранту видаляють

з поверхні та наносять проявник. Проявник вбирає (адсорбує) пенетрант, який проник у несучільність і там залишився, що дає чітко видиму контрастну індикацію несучільності.

Якщо необхідно провести комплексні неруйнівні випробування, капілярний контроль потрібно виконувати першим, якщо тільки інше не погоджено між договірними сторонами, щоби забруднення не потрапили у відкриті несучільності. Якщо капілярний контроль проводять після інших методів НК, поверхня контролю має бути ретельно очищена від забруднень перед його проведенням.

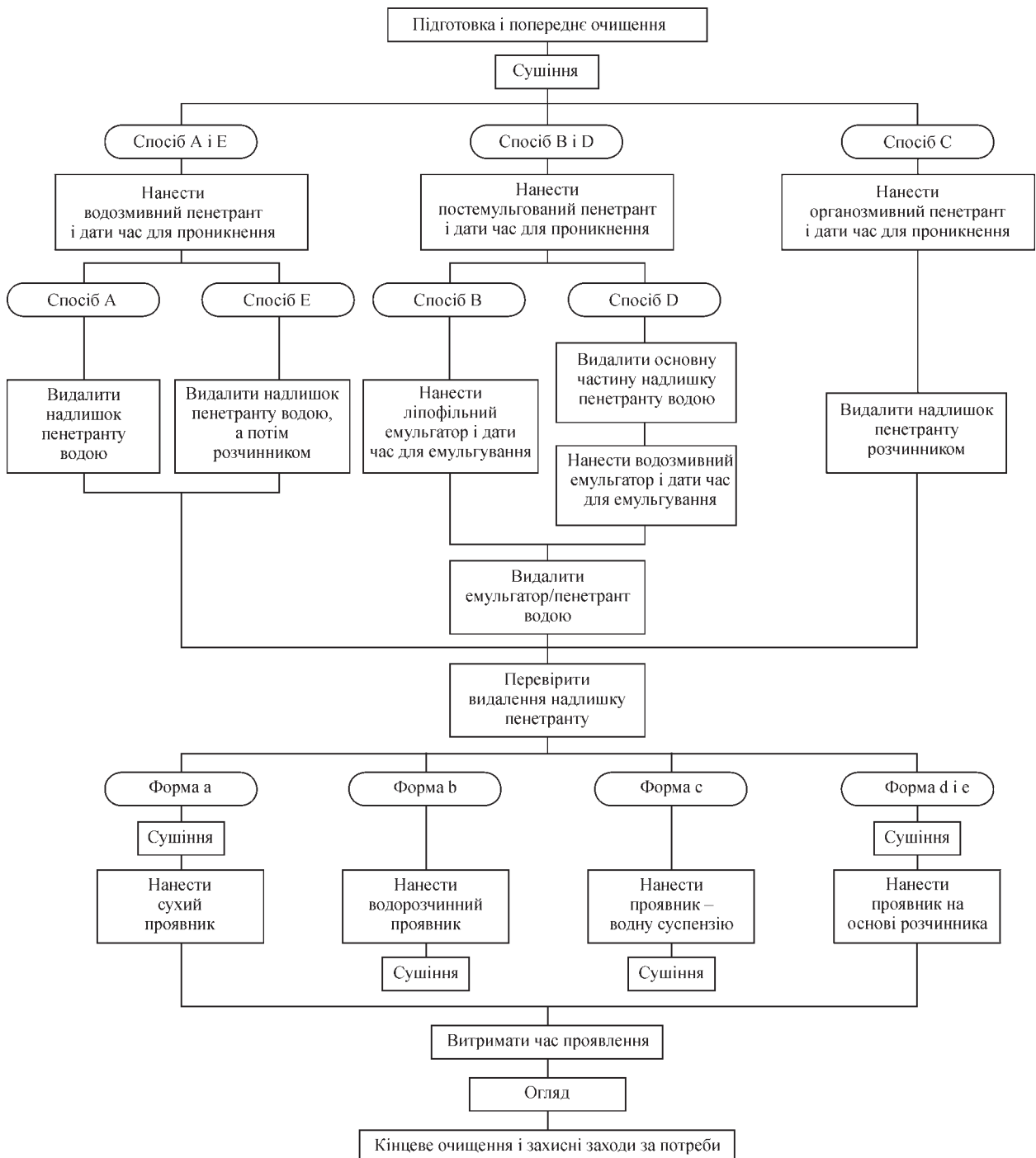


Рис. 1. Основні етапи капілярного контролю та послідовність операцій для загального випадку

Основні етапи капілярного контролю та послідовність операцій для загального випадку, якої слід дотримуватися, наведені в алгоритмі на рис. 1.

Контроль у загальному випадку поділяється на наступні етапи: а) підготовка та попереднє очищення; б) нанесення пенетранту; в) видалення надлишку пенетранту; г) нанесення проявника; д) огляд і реєстрація індикаторних слідів; є) складання протоколу; ж) остаточне очищення.

Обладнання для капілярного контролю залежить від кількості, розмірів і форми деталей, які контролюють, і повинно відповідати вимогам EN ISO 3452-4 [4].

Ефективність капілярного контролю залежить від багатьох факторів, зокрема: а) типів дефектоскопічних матеріалів і обладнання; б) підготовки та стану поверхні; в) матеріалу об'єкта контролю та очікуваних несущільностей; г) температури контрольованої поверхні; д) тривалості проникнення та часу проявлення; є) умов огляду.

Для підтвердження правильного вибору параметрів потрібно виконати контрольні перевірки.

Вимоги до дефектоскопічних матеріалів. У капілярному контролі існують різні дефектоскопічні системи. Під набором дефектоскопічних матеріалів розуміють наступні дефектоскопічні матеріали: пенетрант, засіб для видалення надлишку пенетранту та проявник. При контролі згідно з EN ISO 3452-2 [2] пенетрант і засіб для видалення надлишку пенетранту повинні бути від одного виробника. Засоби, що використовують для контролю, наведені в табл. 1.

Рівень чутливості набору дефектоскопічних засобів потрібно визначати за допомогою контрольного зразка типу I відповідно до EN ISO 3452-3 [3]. Оцінений таким чином рівень чутливості завжди стосується методу, який застосовується для типових випробувань схваленого набору дефектоскопічних засобів.

Схваленому набору дефектоскопічних засобів, що використовуватиметься для капілярного контролю, присвоюється маркування, де вказано тип, спосіб і форма дефектоскопічних засобів, а також

цифрове позначення рівня чутливості, який досягається при випробуванні за допомогою контрольного зразка типу I відповідно до EN ISO 3452-3 [3].

Приклад. Схвалений набір дефектоскопічних засобів, до якого входять флуоресцентний пенетрант (I), вода як засіб для видалення надлишку пенетранту (A), сухий проявник (a), чутливість якого відповідає 2-му рівню, матиме наступне маркування системи капілярного контролю: набір дефектоскопічних засобів IAa Рівень 2.

Дефектоскопічні засоби мають бути сумісними з матеріалом об'єкта контролю та з призначенням контрольованої деталі чи деталей до експлуатації. Дефектоскопічні матеріали мають бути сумісними один з одним. Витратні матеріали потрібно замінити на такі самі матеріали, які можуть належати до іншої партії. Матеріали мають бути від одного виробника.

Хімічні та фізичні властивості деяких неметалічних матеріалів можуть змінюватися під впливом дефектоскопічних матеріалів капілярного контролю. Необхідно переконатися перед контролем у сумісності дефектоскопічних матеріалів з матеріалом контрольованих деталей, з якого вони виготовлені, а також вузлів, що містять такі матеріали. У тих випадках, коли можуть з'явитися забруднення, важливо переконатися, що дефектоскопічні матеріали не чинять ніякого шкідливого впливу на паливні, мастильні матеріали, гідравлічні рідини тощо. При контролі матеріалів, що контактують з ракетним мастилом, вибуховими речовинами (це стосується всіх деталей, що містять порох, детонаційні та піротехнічні матеріали), кисневого обладнання чи ядерних установок, сумісності дефектоскопічних матеріалів потрібно приділяти особливу увагу.

Процедура контролю. Усі випробування слід виконувати відповідно до затвердженої письмової процедури контролю, яка може бути спеціальною або міститися у відповідному стандарті на продукцію.

Попереднє очищення. За необхідності, забруднення, такі як окалина, іржа, мастило, жир або лак, мають бути попередньо видалені механічними або хімічними методами чи їх комбінацією.

Таблиця 1. Засоби контролю

Пенетрант		Засіб для видалення надлишку пенетранту		Проявник	
Тип	Назва	Спосіб контролю	Назва	Форма	Назва
I	Флуоресцентний пенетрант	A	Вода	a	Сухий проявник
II	Кольороконтрастний пенетрант	B	Ліпофільний емульгатор	b	Водорозчинний
III	Пенетрант подвійного призначення (флуоресцентний кольороконтрастний пенетрант)	C	Розчинник – галогенізований – негалогенізований – спеціального застосування	c	Водна суспензія
		D	Ліпофільний емульгатор	d	На основі розчинника (безводний, для типу I)
		E	Вода та розчинник	e	На основі розчинника (безводний, для типу II і III)
				f	спеціального застосування

Попереднє очищення має забезпечити видалення з контрольованої поверхні різних залишків і можливість проникнення пенетранту в несущільність. Зона, яку очищують, повинна бути достатньо великою, щоб уникнути впливу прилеглих ділянок на власне контрольовану ділянку.

Окаліну, шлак, іржу тощо потрібно видаляти відповідними способами, наприклад, щіткою, наждаком, шліфуванням, піскоструминним очищенням або водою під великим напором. Ці способи видаляють забруднення з поверхні та, як правило, непридатні для видалення забруднення з поверхневих несущільностей. У будь-якому випадку потрібно забезпечити, щоби несущільності не були замаскованими пластичними деформаціями або рештками абразивних матеріалів. Якщо необхідно забезпечити, щоби несущільності мали вихід на поверхню, після належної промивки та сушки потрібно провести травлення. Хімічне попереднє очищення потрібно проводити придатними для цього хімічними очисними засобами для видалення залишків мастильних матеріалів, фарби чи засобів травлення.

Залишки процесів хімічного очищення можуть вступати в реакцію з пенетрантом і дуже зменшити його чутливість. Зокрема, кислоти та хромати можуть сильно зменшувати флуоресценцію флуоресцентного пенетранту та забарвлення кольороконтрастного пенетранту. Тому хімічні засоби потрібно видаляти з поверхні контролю після процесу попереднього очищення за допомогою придатних способів очищення, що можуть включати промивання водою.

Завершальним етапом попереднього очищення є ретельне сушіння деталей, що контролюються, так щоб у несущільностях не залишилось ані води, ані розчину. Дефектоскопічний матеріал, контрольована поверхня та температура доквілля мають бути в діапазоні 10...50 °C, за винятком процесів сушіння. Різкі перепади температури можуть спричинити конденсацію, яка може порушити технологію, тому її слід уникати. Для температур, що виходять за межі діапазону 10...50 °C, контроль потрібно проводити відповідно до ISO 3452-5 [5] або ISO 3452-6 [6] залежно від ситуації.

Нанесення пенетранту. Пенетрант можна наносити на контрольовану деталь шляхом розбризкування, пензлем, поливом, зануренням або імерсією. Пенетрант повинен залишатися на контрольованій поверхні впродовж усього часу проникання. Необхідний час проникання залежить від властивостей пенетранту, температури, матеріалу контрольованої деталі та несущільностей, які потрібно виявити. Час проникання повинен бути 5...60 хв і не менше часу, рекомендованого виробником для досягнення необ-

хідної чутливості. Час проникання повинен бути задокументований.

Видалення надлишку пенетранту. Нанесення очисних засобів потрібно здійснювати таким чином, аби пенетрант не видалився з несущільностей. Надлишок водозмивного пенетранту повинен бути видалений змиванням (ополіскуванням), зануренням чи протиранням із використанням води. Потрібно стежити за тим, щоби мінімізувати механічний вплив методу промивання. Надлишок органо-змивного пенетранту повинен бути видалений спочатку за допомогою безворсової тканини, а після цього очищений протиранням чистою безворсовою тканиною, злегка змоченою в розчиннику. Будь-який інший спосіб видалення повинен пройти технічну експертизу на придатність і бути погоджений між договірними сторонами, особливо в тих випадках, коли розчинник як очисний засіб розбризкується безпосередньо на контрольовану деталь.

Видалення гідрофільного постемульгованого пенетранту з контрольованої поверхні його можна зробити водозмивним шляхом нанесення емульгатора. Перед нанесенням емульгатора потрібно провести промивання водою, щоби видалити основну частину надлишку пенетранту з контрольованої поверхні та створити сприятливі умови для рівномірної дії гідрофільного емульгатора, який наносять після промивання. Емульгатор потрібно наносити шляхом занурення або зпінення. Концентрацію та тривалість контакту емульгатора користувач має визначити шляхом попередніх випробувань згідно з інструкціями виробника. Не можна перевищувати попередньо визначений час контакту емульгатора. Після емульгування потрібно провести остаточне змивання.

Видалення ліпофільного (на масляній основі) постемульгованого пенетранту з контрольованої поверхні можна зробити водозмивним шляхом нанесення емульгатора. Цього можна досягти тільки шляхом занурення. Тривалість контакту емульгатора користувач повинен визначити шляхом попередніх випробувань згідно з інструкціями виробника. Ця тривалість має бути достатньою для того, щоби дозволити видалити промиванням водою лише надлишок пенетранту з контрольованої поверхні. Визначений час емульгування перевищувати не можна. Відразу після емульгування потрібно провести змивання.

Під час видалення надлишку пенетранту контрольовану поверхню потрібно перевірити на наявність залишків пенетранту. Для флуоресцентних пенетрантів перевірку потрібно проводити за допомогою ультрафіолетового світильника. Мінімальна освітленість ультрафіолетовим випромінюванням повинна бути не менше ніж 1 Вт/м² (100 мкВт/см²), а видиме світло – не біль-

ше 100 лк. Для кольороконтрастних пенетрантів освітленість білим світлом на контрольованій поверхні має бути не менше 350 лк. Надлишковий фон зазвичай вимагає повторної обробки поверхні, якщо інше не дозволено фахівцем із належної кваліфікацією.

Сушіння. Щоби швидше висушити надлишки води, з деталі потрібно видалити будь-які краплі та скупчення води. За винятком випадків, коли застосовується проявник на водній основі, контрольовану поверхню потрібно висушити якнайшвидше після видалення надлишку пенетранта, використовуючи один із наступних способів:

- а) витирання чистою, сухою, безворсовою тканиною;
- б) випаровування при температурі навколишнього середовища після занурення в гарячу воду;
- в) випаровування при високій температурі;
- г) примусова циркуляція повітря;
- д) комбінація способів а) – г).

Якщо використовується стиснене повітря, особливу увагу потрібно звернути на те, щоби контрольована поверхня була вільна від води та мастила і щоби падаючий на поверхню деталі тиск був якнайнижчий. Якщо використовується система сушіння вентиляванням при низькому тиску (наприклад, сушильна камера), температура повітря не повинна перевищувати 70 °С. Тривалість сушіння повинна бути такою, щоби температура поверхні не піднімалась вище 50 °С. Сушіння деталі, що підлягає контролю, потрібно виконувати таким чином, щоби не висушити пенетрант, який проник у несущільності. Температура поверхні не повинна перевищувати 50 °С під час процесу сушіння, якщо не дозволено інше.

Нанесення проявника. Проявник при використанні потрібно підтримувати в однорідному стані та рівномірно наносити на контрольовану поверхню. Наносити проявник потрібно якнайшвидше після видалення надлишку пенетранту. При застосуванні проявників на водній основі з водозмивними пенетрантами потрібно бути обережним, щоб уникнути вимивання пенетранту з несущільностей.

Сухий проявник потрібно використовувати тільки з флуоресцентними пенетрантами. Проявник потрібно наносити на контрольовану поверхню рівномірно одним із наступних способів: розбризкуванням, електростатичним напилюванням, пневморозпилювачем, псевдозрідженим шаром або у вихровій камері. Контрольована поверхня має бути покрита тонким шаром, локальні скупчення неприпустимі. Надлишок проявника потрібно обережно видалити після завершення часу проявлення та перед оглядом, використовуючи спосіб, який не пошкодить індикації.

Проявник у вигляді водної суспензії слід наносити тонким шаром імерсійно (зануренням) у збовтану суспензію або розбризкуванням за допомогою відповідного обладнання та відповідно до схваленої процедури. Час занурення та температуру проявника має визначати користувач на основі попередніх випробувань згідно з інструкціями виробника. Для забезпечення оптимальних результатів час занурення має бути якнайкоротшим. Деталь потрібно просушити шляхом випаровування і/або у сушильній камері з примусовою циркуляцією повітря.

Проявник на основі розчинника потрібно наносити рівномірно розпилюванням так, щоби контрольована поверхня була рівномірно змочена й утворилась тонка та однорідна плівка.

Водорозчинний проявник слід наносити тонким шаром шляхом занурення або розпилення відповідним обладнанням згідно зі схваленою процедурою. Час занурення та температура проявника мають бути визначені користувачем на основі попередніх випробувань згідно з інструкціями виробника. Для забезпечення оптимального результату час занурення має бути якнайкоротшим. Деталь потрібно просушити шляхом випаровування і/або у сушильній камері з примусовою циркуляцією повітря.

Проявник для спеціального застосування на водній основі чи на основі розчинника (проявник, що відшаровуються) слід використовувати, якщо індикація, відображена процесом капілярного контролю, потребує фіксації. Після завершення рекомендованого часу проявлення треба обережно зняти шар плівки проявника. Індикації проявляються на поверхні плівки у безпосередньому контакті з деталлю. Тривалість проявлення має становити 10...30 хв. Збільшення тривалості появилення допускається за погодженням договірних сторін. Час проявлення починається:

- при використанні сухого проявника – відразу після нанесення;
- при використанні мокрого проявника – відразу після сушіння.

Огляд контрольованої поверхні. Умови огляду повинні відповідати вимогам EN ISO 3059 [9].

При флуоресцентному способі контролю очі контролера повинні звикнути до темряви в зоні огляду щонайменше упродовж 1 хв. У деяких випадках зручніше встановити ультрафіолетове фонове освітлення. Ультрафіолетове випромінювання на контрольованій поверхні має бути не менше 10 Вт/м² (1000 мкВт/см²) при низькому рівні видимого світла (максимальне загальне освітлення від ультрафіолетового світильника 20 лк).

При кольороконтрастному способі контролю для проведення огляду освітленість на контрольованій поверхні має бути не менше 500 лк.

Індикації, що з'являються при капілярному контролі, можуть давати обмежену інформацію щодо форми та розмірів несущільностей. У деяких випадках доречно робити перший огляд поверхні відразу після нанесення проявника або щойно просохне проявник. Це допоможе кращій інтерпретації індикацій. Остаточний огляд потрібно проводити після завершення часу проявлення. Можна використовувати допоміжні засоби контролю, такі як збільшувальні інструменти. Реєстрація результатів може здійснюватися будь-яким підходящим методом (наприклад, письмовий опис, ескіз чи фотографія). Вимоги до змісту протоколу капілярного контролю викладені в EN ISO 3452-1 [1]. Кінцеве очищення контрольованої поверхні після завершення огляду необхідно тільки в тих випадках, коли залишки проявника можуть вплинути на подальшу обробку чи використання проконтрольованої деталі. За потреби наносять антикорозійне покриття.

Випробування процесу капілярного контролю. У стандарті EN ISO 3452-1 [1] також наведені вимоги до випробування окремих процесів контролю для моніторингу впровадження методу. З метою збереження цілісності процесу капілярного контролю весь процес та окремі складові системи потрібно регулярно перевіряти, аби пересвідчитись, що вони відповідають стандартам. Ця вимога стосується процесів, де матеріали використовуються повторно, а також продуктів, які постачають в аерозольних упаковках для одиничних інспекцій.

Нижче перелічено випробування певних процесів, які потрібно проводити з установленою періодичністю:

1. оцінка ефективності системи випробувань на контрольних зразках;
2. очищення деталей, що слугують контрольними зразками;
3. зовнішній вигляд пенетранту;
4. зовнішній вигляд води для промивання;
5. температура води для промивання;
6. температура сушильної камери;
7. чистота робочої зони;
8. стан фільтрів стисненого повітря;
9. стан ламп і фільтрів ультрафіолетового випромінювання спектру А;
10. вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання спектру А;
11. вимірювання інтенсивності видимого світла в оглядовій кабіні флуоресцентної системи;
12. вимірювання інтенсивності видимого світла в робочій зоні кольороконтрастної системи;
13. вимірювання флуоресцентної яскравості пенетранту;
14. оцінювання інтенсивності кольору пенетранту;

15. випробування концентрації гідрофільного очисника;

16. оцінювання зовнішнього вигляду сухого порошкоподібного проявника;

17. вимірювання концентрації і випробування на змочуваність водорозчинного проявника;

18. вимірювання концентрації і випробування на змочуваність проявника у формі водної суспензії;

19. калібрування ультрафіолетового радіометра, люксметра, термометра, датчика тиску;

20. калібрування контрольного зразка.

Стандарт EN ISO 3452-2 [2] визначає рівні чутливості, технічні вимоги та процедури випробувань дефектоскопічних матеріалів як під час дослідження окремих зразків, так і при дослідженні їх партії.

Рівні чутливості. Рівні чутливості визначають окремо для пенетранту, очисника від надлишку пенетранту, проявника та для набору продуктів у цілому. Рівні чутливості для набору флуоресцентних дефектоскопічних матеріалів визначаються еталонними продуктами:

- рівень чутливості ½ (наднизький);
- рівень чутливості 1 (низький);
- рівень чутливості 2 (середній);
- рівень чутливості 3 (високий);
- рівень чутливості 4 (надвисокий).

Рівень чутливості для набору кольороконтрастних матеріалів визначають за допомогою стандартних зразків типу I відповідно до EN ISO 3452-3 [3]:

- рівень чутливості 1 (нормальний);
- рівень чутливості 2 (високий).

Класифікацію пенетрантів подвійної дії за чутливістю можна виконувати так, як для групи кольороконтрастних пенетрантів. Чутливість флуоресцентної і кольороконтрастної систем визначається шляхом порівняння результатів досліджуваних матеріалів і стандартних еталонних продуктів, із використанням контрольних зразків, наприклад, зразків типу I за EN ISO 3452-3 [3]. Детальний опис процедури визначення чутливості дефектоскопічних матеріалів всіх типів наведено в розділі 6 стандарту EN ISO 3452-2 [2].

Випробування дефектоскопічних матеріалів. Дослідження зразків пенетрантів повинне проводитися лабораторією, акредитованою на це відповідно до ISO/IES 17025 з метою забезпечення вимог EN ISO 3452-2 [2]. Кожна виробнича партія проходить періодичне випробування виробником, щоби забезпечити партії ті ж властивості, які має відповідний затверджений зразок. У випадку пенетранту, упакованого в аерозольні балони, необхідно додатково визначати вміст сірки та галогенів. У процесі використання дефектоскопічних матеріалів дослідження виконує користувач.

Таблиця 2. Властивості дефектоскопічних матеріалів, що мають досліджуватися

Пенетранти	Очищувачі від надлишку пенетранту	Проявники
Зовнішній вигляд	Зовнішній вигляд	Зовнішній вигляд
Чутливість	Чутливість	Чутливість
Густина	Густина	Температура загоряння (лише для форми d)
В'язкість	В'язкість	Корозійні властивості (за виключенням форми a)
Температура загоряння	Температура загоряння	Вміст сірки та галогенів ^a
Змивання пенетранту (лише для пенетрантів способу А)	Поглинання води (лише для пенетрантів способу А)	Вміст твердої речовини (лише для форми d)
Флуоресцентна яскравість (пенетранти типу I)	Корозійні властивості	Продуктивність проявника (за виключенням форми e)
Ультрафіолетова стабільність (пенетранти типу I)	Вміст сірки та галогенів ^a	Дисперсійна здатність (лише для форм c і d)
Температурна стабільність (пенетранти типу I)	Залишок після випаровування/вміст твердої речовини	Густина (рідини-носія) (лише для форми d)
Поглинання води (лише для пенетрантів способу А)	Вміст пенетранту (лише способи B і D)	Розподіл часток за розмірами
Корозійні властивості	Вміст води (способи A і E)	Інші забруднювальні домішки
Вміст сірки та галогенів ^a	Інші забруднювальні домішки	
Вміст води (способи A і E)		

^a Вимагається лише для продукції, позначеної «з низьким вмістом сірки та галогенів».

вач відповідно до вимог EN ISO 3452-1 [1] та EN ISO 3452-3 [3]. У табл. 2 наведено перелік властивостей дефектоскопічних матеріалів, що мають досліджуватися.

Детальний опис методів дослідження дефектоскопічних матеріалів всіх типів, вимоги до них, інтерпретація результатів і необхідне приладдя наведені в розділі 6 та в Додатках стандарту EN ISO 3452-2 [2].

Контрольні зразки. Стандарт EN ISO 3452-3 [3] присвячений опису контрольних (випробувальних) зразків типу I і II. Контрольний зразок типу I складається з набору чотирьох пластин, на які нанесено хромонікелеве покриття завтовшки 10, 20, 30 і 50 мкм відповідно. Пластини з покриттям завтовшки 10, 20 і 30 мкм використовують для визначення чутливості флуоресцентних пенетрантних систем. Чутливість кольороконтрастних пенетрантних систем визначають пластинами з покриттями завтовшки 30

і 50 мкм. Контрольний зразок типу II складається з пластини, на одну половину поверхні якої нанесено електролітичним способом нікелеве покриття та тонкий шар хромового покриття, а друга половина спеціально оброблена для надання ділянкам поверхні різної шорсткості. Частина пластини з нанесеним хромонікелевим покриттям містить п'ять розривів зіркоподібної форми. Пластини контрольного зразка типу I мають прямокутну форму з розмірами 35×100×2 мм (рис. 2). Кожна пластина виготовлена з латуні з нанесеним на неї рівномірним шаром завтовшки 10, 20, 30 і 50 мкм відповідно хромонікелевим покриттям. На кожній пластині розтягуванням її у повздовжньому напрямку зроблені поперечні тріщини. Відношення ширини до глибини кожної тріщини повинне становити приблизно 1:20.

Пластина контрольного зразка типу II (рис. 3) має прямокутну форму з розмірами 155×50×2,5 мм. Матеріалом основи є нержавка сталь типу X2Cr

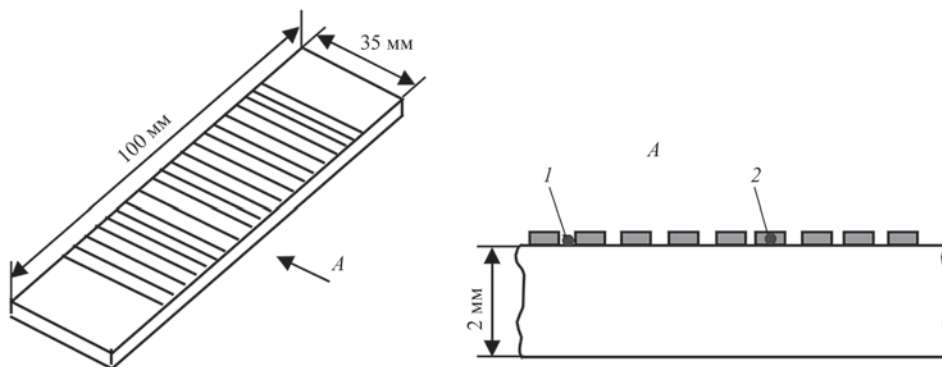


Рис. 2. Пластина контрольного зразка типу I (схематично): 1 – поперечні тріщини, 2 – хромонікелеве покриття завтовшки 10, 20, 30, 50 мкм

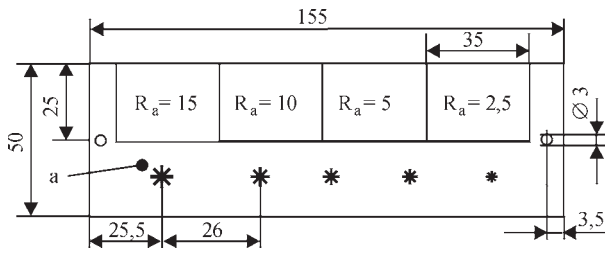


Рис 3. Контрольний зразок типу II

Ni Мо 17-12-3 із початковою твердістю за Віккерсом $HV_{20} = 150 \pm 10$ або еквівалентною. Для перевірки змивання пенетрантів на одній половині пластини виконані з шорсткістю $R_a = 2,5; 5; 10$ і 15 мкм чотири суміжні ділянки розміром 35×25 мм. Ділянка з $R_a = 2,5$ мкм може бути виготовлена піщаноструменевою обробкою, а всі інші ділянки – електроерозійною обробкою.

Ділянка дефектів розташована на другій половині пластини контрольного зразка. Нікелеве покриття завтовшки 60 ± 3 мкм наносять електролітичним способом на поверхню пластини з метою забезпечення значення твердості за Віккерсом у діапазоні $HV_{0.2} = 500 \dots 600$. На нікелеве покриття наносять шар твердого хрому завтовшки $0,5 \dots 1,5$ мкм. Потім пластини піддається термообробці для досягнення значення твердості за Віккерсом у діапазоні $HV_{0.3} = 900 \dots 1000$, наприклад, за допомогою нагрівання до температури 405 °C протягом 70 хв. Шорсткість R_a хромового покриття повинна бути в межах $1,2 \dots 1,6$ мкм.

П'ять вм'ятин, розташованих на однаковій відстані одна від одної, виготовляються навантаженням 2; 3,5; 5,0; 6,5 і 8 кН, яке прикладається до сторони, оберненої щодо контрольованої поверхні (області з покриттям). Вм'ятини для отримання штучних дефектів утворюються з використанням машини для стиснення (зусилля 120 кН) або машини для вимірювання твердості за Віккерсом, оснащеної напівсферичним індентором. Конструкцію спеціального індентора наведено в стандарті. Вм'ятини отримують за швидкості прикладання навантаження $0,05$ кН/с і швидкості знімання навантаження $0,5$ кН/с при безперервному прикладанні навантаження. Розмір кожного штучного дефекту визначають оптичними засобами як найбільший діаметр, використовуючи калібрувальні шкали.

Кожен випробувальний зразок типу I (комплект пластин) повинен бути ідентифікованим як такий, що відповідає вимогам EN ISO 3452-3, з наступною ідентифікацією постачальника та за серійним номером. Кожен випробувальний зразок типу II повинен бути ідентифікованим як такий, що відповідає вимогам ISO 3452-3, з ідентифікацією постачальника та за серійним номером.

Стандарт EN ISO 3452-4 [4] визначає характеристики обладнання, що використовується при капілярному контролі. Характеристики обладнання,

необхідного для капілярного контролю, залежать від об'єму контролю та від розміру виробів, які будуть випробовуватись. У цей стандарт включено два види обладнання:

- обладнання, придатне для перенесення до місця здійснення контролю;
- стаціонарне обладнання.

Обладнання, що використовується в капілярному контролі, має вибиратись і застосовуватись відповідно до наступних вимог:

- обладнання має бути придатним для реалізації технології капілярного контролю;
- мають бути виконані всі вимоги щодо техніки безпеки, охорони здоров'я та навколишнього середовища;
- мають бути умови застосування відповідно до вимог EN ISO 3452-1 [1], EN ISO 3452-2 [2] та EN ISO 3452-3 [3].

У якості переносного обладнання, що використовується для контролю поза робочим місцем, може застосовуватись наступне: переносне обладнання для розпилення; щітки; персональне захисне обладнання; безворсисті серветки та одяг; джерела білого світла; джерело УФ-А світла.

Виробниче стаціонарне обладнання, що використовуються в капілярному контролі, наприклад, баки, трубопроводи чи системи каналів, мають бути стійкими до дії продуктів, що застосовуються в повному робочому циклі. Крім того, ці матеріали не мають викликати будь-які зміни властивостей дефектоскопічних матеріалів, що використовуються.

Обладнання має встановлюватись там, де відсутня можливість його забруднення робочими речовинами із зовнішніх джерел, наприклад, витоком із підвісного паропроводу. Крім того, баки з дефектоскопічними матеріалами повинні мати кришки, які закриваються на час простою обладнання.

Якщо підприємство має систему для обробки стічних вод або переробки води, система має бути розроблена таким чином, щоби будь-яка рідина, що попадає у стічні води, відповідала місцевим вимогам щодо стічних вод. Крім того, перероблена вода повинна бути такої якості, щоби можна було полоскати деталі.

Коли використовується система вентиляції, наприклад, при розпиленні пенетранту, то вона має повністю відповідати місцевим вимогам щодо норм техніки безпеки та охорони здоров'я, а також місцевим законам про викиди в атмосферу. Всі хімічні речовини, що використовуються в капілярному контролі, мають зберігатись у закритих контейнерах, а їх зберігання має відповідати вимогам техніки безпеки та охорони здоров'я.

Обладнання дільниці (робочого місця) підготовки та попереднього очищення об'єктів

контролю повинне гарантувати, що вироби знежирені та очищені відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 3452-1 [1]. Якщо необхідно, має бути обладнання для охолодження виробів перед застосуванням пенетранту. Засоби для знежирення, очищення та охолодження мають бути в необхідній кількості для здійснення технологічного процесу контролю виробів. Знежирення парами рідини, що включає галогенізований вуглець, має відповідати вимогам щодо забруднення повітря.

Дільниця (робоче місце) застосування пенетранту повинна мати обладнання для нанесення пенетранту за допомогою пневматичного розпилення, безповітряного або електростатичного розпилення, розпилення з аерозольного балончика, щіткою, наливом або зануренням у бак з пенетрантом. Баки, що використовуються для відпрацьованих дефектоскопічних речовин, повинні мати піддон для збору стоку. При використанні люмінесцентних пенетрантів і ручного обладнання для розпилення необхідно користуватись джерелом світла типу УФ-А для перевірки поверхні, вкритої пенетрантом. При застосуванні розпилення використовується відповідне обладнання для захисту.

Дільниця видалення надлишку пенетранту повинна включати:

- робоче місце для змивання пенетранту зануренням, оснащеним баками для миття, які мають засоби для кондиціонування води та контролю температури води;
- робоче місце для змивання пенетранту розпиленням повинно мати обладнання для ручного або автоматичного розпилення, наприклад, водний або повітряний/водний пістолет для утворення необхідного струменя низького тиску при температурі, що не перевищує 50 °С;
- робоче місце емульсування повинно бути обладнано баками для нанесення гідрофільного чи ліпофільного емульгаторів способом занурення, які повністю вміщують контрольовані вироби в розчині протягом часу емульсування;
- робоче місце сушіння виробів від води повинне мати відповідне обладнання, наприклад, систему вакуумування, барабан, що обертається, генератор гарячого повітря з температурою до 80 °С, піч із потоком стисненого повітря тощо.

Дільниця застосування проявника повинна мати наступне обладнання:

- для нанесення на вироби тонкого рівномірного шару порошкоподібного проявника: камеру вихрову порошкову; електростатичний розпилювач; порошкорозпилювач; перекидний механізм; повітряний інжектор; камеру флюїдизації;
- для нанесення суспензійного проявника на основі води робоче місце повинне бути обладнане ба-

ком, що має кришку, а його розміри повинні забезпечити повне занурення виробів. Бак повинен мати апаратуру для тривалого перемішування проявника за допомогою чистого повітря або механічним чином, мати пристрій для підтримання температури проявника на рівні рекомендацій виробника та мати систему стоку надлишку проявника в резервуар;

- для нанесення суспензійного проявника на основі розчинника робоче місце повинне мати обладнання для розпилення проявника всередині камери. Проявник може бути нанесений за допомогою повітря або електростатичним розпиленням. Обладнання повинне забезпечити за допомогою відповідного механічного перемішування збереження проявника в стані суспензії. Якщо необхідно, розпилювач повинен підключатись до джерела чистого, сухого відфільтрованого повітря. Проявник можна розпилити з аерозольного балончика.

Дільниця огляду повинна бути достатньо просторою, щоби персонал міг вільно пересуватись і переміщувати контрольовані вироби, а поверхня робочих столів повинна бути такою, що не відбиває світло. Для люмінесцентного контролю необхідні відповідні лампи УФ-А типу, що відповідають вимогам EN ISO 3059 [3]. Ультрафіолетові лампи також використовуються для фонових освітлення. Лампи мають бути розташовані таким чином, щоби рівень видимого світла навколишнього середовища не перевищував 20 лк. Для контролю кольороконтрастним пенетрантом джерело білого світла має створювати на поверхні контрольованого виробу освітлення не менше 500 лк.

Цілий ряд стандартів установлюють додаткові вимоги до технологій контролю окремих видів продукції та наводять рівні приймання за результатами капілярних випробувань. Стандарт EN ISO 23277:2014 [10] установлює три рівні приймання для зварних швів металевих матеріалів за розміром лінійних та округлих індикацій. Стандарт ISO 4987:2010 [11] установлює рівні приймання для сталевих відливок за розміром лінійних чи округлих індикацій та їх розташуванням на найбільш неблагополучній ділянці розміром 105×148 мм. Порівняльні рисунки індикацій на таких ділянках наведені в стандарті. Стандарти EN 1371-1:2011 [12] та EN 1371-2:2015 [13] установлюють рівні приймання для металевих відливок за розміром лінійних чи округлих індикацій та їх розташуванням на найбільш неблагополучній ділянці розміром 105×148 мм. Таблиці та порівняльні рисунки індикацій на таких ділянках наведені в стандарті. Стандарт EN 10228-2:2016 [14] установлює чотири рівні приймання для сталевих поковок за розміром лінійних чи округлих індикацій та їх розташуванням на найбільш неблагополучній ділянці

розміром 105×148 мм. Числові значення недопустимих індикацій наведені в таблиці.

Висновки

Положення міжнародних стандартів, названих у цій статті, раніше на промислових підприємствах України не застосовувалися.

Стандарт [1] формалізує п'ять базових технологічних схем капілярного контролю та встановлює вимоги до технологічних операцій.

Стандарт [2] визначає рівні чутливості, технічні вимоги та процедури випробовувань дефектоскопічних матеріалів як під час дослідження окремих зразків, так і при дослідженні їх партії.

Стандарт [3] описує контрольні (випробувальні) зразки типу I і II, які використовуються для перевірки працездатності комплектів дефектоскопічних матеріалів та їх чутливості.

Стандарт [4] визначає характеристики обладнання, що використовується при капілярному контролі. Характеристики обладнання, необхідного для капілярного контролю, залежать від об'єму контролю та від розміру виробів, які будуть випробовуватись.

Для температур, що виходять за межі діапазону 10...50 °С, контроль потрібно проводити відповідно до стандартів [5] або [6] залежно від ситуації.

Стандарти [10–15] установлюють додаткові вимоги до технологій контролю окремих видів продукції і наводять рівні приймання за результатами капілярних випробувань зварних з'єднань, сталевих литва, поковок і безшовних труб.

Список літератури/References

1. EN ISO 3452-1:2021 Non-destructive testing — Penetrant testing — Part 1: General principles. (ДСТУ EN ISO 3452-1:2022, Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Частина 1: Загальні вимоги).
2. EN ISO 3452-2:2021 Non-destructive testing — Penetrant testing — Part 2: Testing of penetrant materials (ДСТУ EN ISO

- 3452-2:2022, Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Частина 2: Випробування дефектоскопічних матеріалів).
3. EN ISO 3452-3:2021 Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 3: Reference test blocks (ДСТУ EN ISO 3452-3:2022 Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Частина 3: Контрольні випробувальні зразки).
4. EN ISO 3452-4:2020 Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 4: Equipment (ДСТУ EN ISO 3452-4:2020 Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Частина 4: Обладнання).
5. EN ISO 3452-5:2014 Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 5: Penetrant testing at temperatures higher than 50 degrees C (ДСТУ EN ISO 3452-5:2014 Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Частина 5: Капілярний контроль при температурах понад 50 °С).
6. EN ISO 3452-6:2014 Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 6: Penetrant testing at temperatures lower than 10 degrees C (ДСТУ EN ISO 3452-6:2014 Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Частина 6: Капілярний контроль при температурах нижче 10 °С).
7. EN ISO 12706:2009 Non-destructive testing – Penetrant testing – Vocabulary (ДСТУ EN ISO 12706:2016 Неруйнівний контроль – Капілярний контроль – Словник).
8. EN ISO 9712:2022 Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel (ДСТУ EN ISO 9712:2022 Неруйнівний контроль – Кваліфікація і сертифікація персоналу неруйнівного контролю).
9. EN ISO 3059:2012 Non-destructive testing – Penetrant and magnetic particle testing – Viewing conditions (ДСТУ EN ISO 3059:2016 Неруйнівний контроль – Капілярний і магнітопорошковий контроль – Умови огляду).
10. EN ISO 23277:2009 Non-destructive testing of welds – Penetrant testing of welds – Acceptance levels. (EN ISO 23277:2014 Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Капілярний контроль зварних з'єднань. Рівні приймання).
11. ISO 4987:2010 Steel casting – Liquid penetrant inspection. (ДСТУ ISO 4987:2015 Сталеві відливки. Капілярний контроль).
12. EN 1371-1:2011 Founding – Liquid penetrant testing – Part 1: Sand, gravity die and low pressure die castings (ДСТУ EN 1371-1:2015 Литво. Капілярний контроль. Частина 1. Відливки, виготовлені литтям в піщані форми та литтям в кокіль під дією сили тяжіння і під низьким тиском).
13. EN 1371-2:2015 Founding – Liquid penetrant inspection – Part 2: Investment castings (ДСТУ EN 1371-1:2015 Литво. Капілярний контроль. Частина 2. Відливки, виготовлені точним литтям).
14. EN 10228-2:2016 Non-destructive testing of steel forgings — Part 2: Penetrant testing (ДСТУ EN 10228-2:2017 Неруйнівний контроль поковок зі сталі. Частина 2. Капілярний контроль).
15. EN ISO 10893-4:2011 Non-destructive testing of steel tubes — Part 4: Liquid penetrant inspection of seamless and welded steel tubes for the detection of surface imperfections (ДСТУ EN ISO 10893-4:2015 Неруйнівний контроль сталевих труб. Частина 4).

ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS OF INTERNATIONAL STANDARDS REGARDING CAPILLARY CONTROL TECHNOLOGIES FOR METAL PRODUCTION

Yu.M. Posypaiko, S.A. Shchupak

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevich str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: posypaiko.yurii@gmail.com

The process of harmonization of European Union standards in Ukraine, which began in the 2000s, led to appearance of about a hundred new regulatory and technical documents in the field of non-destructive quality control of metal products and the cancellation of previously valid ones. The standardization system in Ukraine is characterized by a certain closedness: lack of official texts of standards in the Ukrainian language, paid access to the standards base, sometimes lack of any texts of officially accepted documents. This led to insufficient awareness of specialists regarding the requirements of current standards. This article analyzes the main requirements and provisions of international standards in the field of capillary control, one of the frequently used types of non-destructive testing, which is conducted to detect discontinuities such as cracks, films, folds, porosity and junctions, which appear on the surface of the tested material. This testing is mainly applied to metallic materials, but it can also be used to control other materials, provided that they are inert to the influence of flaw detection materials and are not too porous (castings, forgings, welds, ceramics, etc.). 15 Ref., 2 Tabl., 3 Fig.

Keywords: non-destructive testing, capillary testing, standards, requirements, penetrant, cleaner, developer, sensitivity, equipment

Отримано 02.12.2024

Отримано у переглянутому вигляді 10.01.2025

Прийнято 15.03.2025