МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення

Е.С. Геворкян, О.М. Мельник

НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Конспект лекцій

Харків – 2015

Геворкян Е.С., Мельник О.М. Неруйнівні методи контролю якості: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – 42 с.

Конспект лекцій містить інформацію щодо основних дефектів металу при різних методах його обробки. Розкривається сутність методу неруйнівного контролю та технічні вимоги до його забезпечення. Наведено детальну характеристику різних методів неруйнівного контролю та визначено їх застосовність щодо ремонту та обслуговування рухомого складу на залізничних підприємствах.

Рекомендується для спеціалістів та магістрів спеціальності «Якість, сертифікація та стандартизація» для самостійного вивчення дисципліни з курсу «Неруйнівні методи контролю якості».

Бібліогр.: 6 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри матеріалів та технології виготовлення виробів транспортного призначення 10 лютого 2014 р., протокол № 20.

Рецензент

проф. Е.С. Геворкян

Е.С. Геворкян, О.М. Мельник

НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Мельник О.М.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 17.03.14 р.

Формат паперу 60х84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,0. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Зміст

Вступ……. 4
ЛЕКЦІЯ 1
Загальна характеристика неруйнівного контролю та вимоги до нього……..... 4
1.1 Види контролю…… 6
1.2 Загальні вимоги до забезпечення дефектоскопічної технологічності виробів…… 7
ЛЕКЦІЯ 2
Види дефектів металу…… 9
2.1 Ливарні дефекти…….. 9
2.2 Дефекти прокатного і кованого металу…… 14
2.3 Дефекти, що виникають при різних видах з'єднання деталей…… 17
2.4 Дефекти, що виникають при різних видах обробки деталей…… 21
2.5 Дефекти, що виникають у деталях при експлуатації машин……. 22
ЛЕКЦІЯ 3
Механізація й автоматизація неруйнівного контролю. Загальні вимоги до засобів дефектоскопічного контролю. Види неруйнівного контролю…….. 25
ЛЕКЦІЯ 4
Акустичний і електричний методи неруйнівного контролю..... 29
ЛЕКЦІЯ 5
Магнітопорошковий, магнітографічний і вихрострумовий методи неруйнівного контролю…… 31
ЛЕКЦІЯ 6
Капілярний, тепловий і оптичний методи неруйнівного контролю…… 33
ЛЕКЦІЯ 7
Радіохвильовий і радіаційний методи неруйнівного контролю…… 35
ЛЕКЦІЯ 8
Неруйнівний контроль при ремонті та технічному обслуговуванні рухомого складу……. 36
Список літератури…….. 42

ВСТУП

Сучасні технологічні процеси виготовлення продукції машинобудування в багатьох випадках супроводжуються проміжним контролем якості виробів. У зв'язку з цим важливого значення набувають неруйнівні методи контролю якості, які дають змогу не тільки виявляти дефекти на поверхні або в товщі виробу, а й визначати їх форму і розміри, а також просторове положення . Кожен з цих методів має визначені переваги, що дає змогу з більшою точністю виявляти ті чи інші типи дефектів.

Процеси утворення і росту дефектів ставлять під загрозу можливість безаварійної експлуатації рухомого складу. Забезпечення безпеки руху за рахунок своєчасного виявлення заводських і втомних дефектів у відповідальних елементах колії та рухомого складу приносить великий економічний ефект і служить збереженню людських життів. Рішення цієї проблеми досягається сучасними фізичними методами неруйнівного контролю.

У цей час неруйнівний контроль являє собою самостійну галузь науки і техніки,що інтенсивно розвивається на стику фізичного матеріалознавства і технології, яка широко застосовується в різних сферах виробництва й особливо на транспорті.

Практика показує, що правильна організація контролю, а також уміле використання того чи іншого методу контролю, розумне поєднання цих методів дають змогу з великою надійністю оцінити наявність дефектів контрольованих виробів.

ЛЕКЦІЯ 1

Загальна характеристика неруйнівного контролю та вимоги до нього

Завдання істотного поліпшення якості промислової продукції, а отже, підвищення надійності і довговічності машин може бути успішно вирішене за умови вдосконалення виробництва і методів контролю якості продукції. Контроль якості продукції полягає в перевірці відповідності показників її

якості встановленим вимогам (ГОСТ 15467-70). Важливими критеріями високої якості деталей машин є фізичні, геометричні та функціональні показники, а також технологічні ознаки якості, наприклад, відсутність неприпустимих дефектів типу порушення суцільності матеріалу, відповідність фізико-механічних властивостей основного матеріалу і покриття, геометричних розмірів і чистоти обробки поверхні, що визначені необхідною технічною документацією та ін. У цей час у виробництві широко застосовують неруйнівний контроль (НК), що дає змогу перевірити якість продукції без порушення її придатності до використання за призначенням.

Існуючі засоби НК згідно з ГОСТ 4.27 -71 і ГОСТ 4.28 -71 призначені для: виявлення дефектів типу порушення суцільності матеріалу виробів; оцінки структури матеріалу виробів; контролю геометричних параметрів виробів; оцінки фізико-хімічних властивостей матеріалу виробів. Контроль із застосуванням дефектоскопів (приладів) ґрунтується на отриманні інформації у вигляді електричних, світлових, звукових та інших сигналів про якість об'єктів, що перевіряються, при їх взаємодії з фізичними полями (електричним, магнітним, акустичним тощо) і (або) речовинами. Залежно від принципу роботи контрольних засобів усі відомі методи НК відповідно до ГОСТ 18353-73 поділяються на акустичні, капілярні, магнітні, оптичні, радіаційні, радіохвильові, теплові, методи контролю течошукачем, електричні та електромагнітні (методи вихрових струмів).

У дефектоскопії для контролю металів та виробів найчастіше застосовують візуально-оптичні, капілярні, магнітні, вихрострумові, ультразвукові та радіаційні методи, які дають змогу здійснити суцільний контроль. Тільки суцільний контроль, а не вибірковий, дає гарантію високої якості всіх виробів, що випускаються. Перераховані методи в багатьох випадках дають змогу автоматизувати процес контролю, завдяки чому досягається його висока продуктивність. У рухомих виробах або у виробах, нагрітих до високих температур, дефекти виявляються шляхом безконтактного контролю. Застосування НК на машинобудівних заводах і при експлуатації машин у різних галузях народного господарства дає значний технічний і

економічний ефект. Використання його в експлуатації дає змогу забезпечити високу надійність і довговічність машин, а також безпеку руху на транспорті.

До НК висуваються такі основні загальні вимоги:

1) можливість здійснення ефективного контролю на різних стадіях виготовлення, в експлуатації і при ремонті виробів;

2) можливість контролю якості продукції за більшістю заданих параметрів;

3) узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;

4) висока достовірність результатів контролю;

5) можливість механізації й автоматизації контролю технологічними процесами, а також управління ними з використанням сигналів, що видаються засобами НК;

6) висока надійність дефектоскопічної апаратури і можливість використання її в різних умовах;

7) простота методики контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту й експлуатації.

1.1 Види контролю

Контроль підрозділяють на виробничий і експлуатаційний і у свою чергу кожен з них – на ручний, механізований і автоматизований.

У виробництві (див. ГОСТ 16504 - 74) застосовують п'ять видів контролю: операційний, суцільний, вибірковий, вхідний і приймальний.

Операційний контроль – контроль продукції під час виконання або після завершення певної виробничої операції, наприклад, шліфування, гартування, зварювання, склеювання і т. п. Контроль кожної одиниці продукції, здійснюваний з однаковою повнотою, називається суцільним, а контроль вибірок або проб з партії або потоку продукції – вибірковим. Вхідним контролем називається контроль матеріалів, комплектуючих виробів і готової продукції, що надійшли на підприємство - споживач від інших підприємств або ділянок виробництва. Контроль готової продукції, за результатами якого приймається

рішення щодо її придатності до використання або постачання, називається приймальним.

У процесі експлуатації виробів проводять профілактичний регламентований і цільовий контроль. Регламентований контроль - плановий контроль після певного напрацювання виробу або деякого терміну зберігання для виявлення й усунення дефектів експлуатаційного походження. Цільовий контроль - позаплановий разовий контроль, що проводиться на всьому парку виробів для виявлення й усунення дефектів конструктивно - виробничого або експлуатаційного походження. Необхідність цього контролю виявляється в умовах експлуатації виробів.

Останнім часом при експлуатації деяких унікальних об'єктів та об'єктів, до яких висуваються особливо високі вимоги щодо надійності, замість регламентованого контролю за часом напрацювання проводять безперервне стеження за станом високонавантажених відповідальних деталей, вузлів і агрегатів із застосуванням як звичайних засобів, так і систем вбудованого автоматизованого контролю. При цьому несправні деталі та агрегати замінюються справними в процесі експлуатації об'єкта. Обслуговування виробів залежно від їх технічного стану дає змогу підвищити надійність і безпеку роботи виробів. Але для ефективного використання цієї системи технічного обслуговування потрібні висока дефектоскопічна технологічність виробів і високий рівень розвитку методів і засобів НК.

1.2 Загальні вимоги до забезпечення дефектоскопічної технологічності виробів

Під дефектоскопічною технологічністю виробу розуміють сукупність властивостей конструкції і її деталей на різних етапах проектування, виготовлення і доведення дослідних зразків, необхідних для забезпечення можливості обгрунтованого дефектоскопічного контролю деталей, вузлів і агрегатів відповідального призначення при виробництві, випробуванні, експлуатації та ремонті. Ці властивості повинні включати: а) можливість контролю деталей, що перевіряються, вузлів і агрегатів (за властивостями матеріалів, конструкції) одним методом або комплексом методів у процесі виробництва, ремонту

і при експлуатації; б) інструментальну доступність до контрольованих зон об'єкта при його виготовленні і при мінімумі демонтажних робіт і витрат часу для проведення ефективного контролю в умовах експлуатації машин. У процесі виготовлення перевірку здійснюють відповідно до технологічних карт на виготовлення та контроль деталей. Забезпечення на стадії проектування вільних підходів до контрольованих деталей виключає в експлуатації необхідність доопрацювання конструкції виробів для проведення контролю. Незадовільна технологічність конструкції виробу перешкоджає впровадженню методів НК (при експлуатації та ремонті виробів) або знижує ефективність їх застосування.

На основі аналізу розрахункових напружень, результатів статистичних і динамічних випробувань, а також статистики відмов при експлуатації аналогічних за конструкцією зразків техніки конструктор повинен визначити, які високонавантажені деталі і вузли підлягають НК в процесі експлуатації, де місця можливого виникнення на них тріщин від утомленості зони контролю.

Конструктор повинен вказати методи і засоби НК, в тому числі і пристрої вбудованого дефектоскопічного контролю об'єктів, можливість контролю яких повинна бути забезпечена в запланованому обсязі.

Конструктор повинен розробити технічну документацію з дефектоскопічного контролю, що включає перелік контрольованих об'єктів і схеми розміщення на виробі, рекомендовані методи, засоби та технологію контролю, критерії бракування, послідовність виконання контролю, порядок провведення контролю в умовах експлуатації виробу і наступного розширення його обсягу. Крім того, повинні бути визначені тривалість і необхідні трудовитрати на підготовку та виконання контрольних операцій. Роботи із забезпечення технологічності виробів і створення технічної документації з дефектоскопічного контролю виконуються конструктором спільно з фахівцями з дефектоскопії, виробництва та експлуатації машин - об'єктів контролю.

ЛЕКЦІЯ 2

Види дефектів металу

Дефектом називається кожна окрема невідповідність продукції вимогам, які встановлені нормативною документацією.

Дефекти поділяють на явні, приховані, критичні, значні і малозначні, виправні та невиправні.

Явні дефекти поверхні виявляють оком, а внутрішні, приховані і поверхневі, що не помітні оком, – спеціальними засобами.

Критичним називають дефект, за наявності якого використання продукції за призначенням неможливе або виключається через невідповідність безпеки або надійності.

Значний – дефект, який суттєво впливає на використання продукції за призначенням і (або) на її довговічність, але не є критичним.

Малозначний – дефект, який не впливає на використання продукції за призначенням і (або) на її довговічність.

За походженням дефекти виробів поділяють: на виробничо-технічні, металургійні, що виникають при литві і прокатці; технологічні, що виникають при виготовленні та ремонті деталей (зварюванні, наплавленні, механічній та термічній обробках, калібруванні та ін.); експлуатаційні, що виникають після деякого напрацювання виробів у результаті утоми металу деталей, корозії, окрихчування під дією радіації, зношування і т.д., а також неправильного технологічного обслуговування в експлуатації.

2.1 Ливарні дефекти

Усадочні раковини - відкриті або закриті порівняно великі пустоти довільної форми з грубою шорсткою, іноді окисленою поверхнею, що містяться в тілі виливка. Утворюються внаслідок нерівномірної усадки металу при затвердінні у верхній частині злитка або в потовщених частинах виливка, де метал твердне в останню чергу. Усадочні раковини містяться між серцевиною і кіркою виливка.

Рихлота – місцеве скупчення дрібних усадочних раковин при крупнозернистій структурі металу. Часто зустрічається рихлота, розташована над усадочною раковиною.

Пористість – місцеве скупчення дрібних газових чи усадочних раковин. Газова пористість зазвичай спостерігається у великому обсязі виливка або окремих її ділянках. Усадочна пористість часто розташовується під концентрованою усадочною раковиною, у той же час є її продовженням або продовженням підусадочної рихлоти.

Ліквацийні зони – нерівномірність хімічного складу металу в тілі виливка. Причиною ліквації є різна температура затвердіння чистого металу і домішок, які містяться у розплаві. Розрізняють дендритну і зональну ліквації. Дендритна ліквація утворюється по межах дендритів зазвичай у кірковій зоні злитка. Зональна ліквація утворюється в тих областях злитка, які тверднуть в останню чергу. Різновидом зональної є підусадочна ліквація, розташована під усадочною раковиною в області виливка, збагачена вуглецем і легуючими домішками (сіркою, киснем, фосфором та ін).

При травленні макрошліфів злитків дефект виявляється у вигляді темно протравлених смужок або плям. На мікрошліфах у зоні дефекту спостерігається скупчення сульфідів і оксидів.

Газова ліквація – характерний дефект злитка киплячої сталі, що являє собою ділянки структурної та хімічної неоднорідності у вигляді стрілоподібної ліквації – каналів у зоні зовнішньої кірки і сегрегаційних плям біля внутрішніх кінців стільникових пузирів. Ділянки газової ліквації в пузирях забруднені неметалевими включеннями (сульфідами та оксисульфідами).

Точково – плямиста неоднорідність типова для високолегованих жароміцних сталей та сплавів і являє собою локальні ділянки, збагачені легуючими домішками у вигляді надлишкових фаз.

Ліквацийний квадрат – дефект, що виявляється в поперечних макрошліфах деформованого металу, являє собою структурну неоднорідність у вигляді зон з різним протравленням, контури яких повторюють форму злитка.

Газові пузирі або раковини в литому металі є пустотами (округлі, овальні або довгасті) з чистою і гладкою, іноді окисленою поверхнею.

За розташуванням у злитках пузирі можуть бути внутрішні і підкіркові. Внутрішні пузирі розташовані довільно за обсягом злитків, у спокійній сталі переважно у верхній частині злитків, а в киплячій – у середній по висоті перерізу зоні. Підкіркові пузирі розташовані біля поверхні злитків і являють собою тонкі звивисті канали, що часто виходять на поверхню. Гаряча деформація призводить до заварювання пузирів у тому випадку, якщо стінки їх не містять стійких оксидів або силікатів, а лише оксиди заліза і марганцю.

На поперечних макрошліфах спокійної сталі незаварені пузирі мають вигляд тонких смужок. Мікроструктура в зоні, розташованій біля пузирів, що не заварилися, характеризується ліквацийними ділянками і скупченнями сульфідів. Газові пузирі в литому металі утворюються внаслідок виділення газів у період кристалізації, оскільки їх розчинність у твердому металі значно менша, ніж у рідкому.

Піщана раковина – пустота в тілі виливка, частково або повністю заповнена формувальним матеріалом.

Шлакова раковина – пустота, заповнена шлаком. Вскип, вскипова раковина – оксидні складки або раковини, що утворюються при кипінні сплаву. Розрізняють вскипи з боку форми, стрижня і від холодильника.

Поверхневе окислення зустрічається (у виливках з магнієвих сплавів) у вигляді: суцільної окисної плівки чорного або сірого кольору; окремих або групових раковин, заповнених порошком чорного або сірого кольору; наростів (грибків) чорного кольору.

Неметалеві включення бувають двоякого роду і походження: 1) включення неметалевих частинок, що потрапили в метал зовні; так, частинки шлаку, вогнетриву, графіту, піску і т.д. можуть потрапити у форму разом з розплавом і утворити шлакові і піщані включення, які найчастіше розташовані у верхніх частинах виливка або на їх поверхні; 2) включення частинок оксидів, сульфідів, силікатів, нітридів, що утворюються всередині металу внаслідок хімічної взаємодії компонентів при

розплавлюванні й заливанні сплаву. Вони розташовуються у вигляді ланцюжків або сітки, часто на межах зерен.

Кірки являють собою ділянки металу, забруднені неметалевими включеннями: розташовуються в обсязі злитків або на поверхні, можуть бути темними або світлими. Темна ківка – дефекти макроструктури, що являють собою ділянки різної форми, які характеризуються поганою здатністю до полірування і підвищеною здатністю до травлення через наявність неметалевих включень і підвищеного вмісту домішок (сірки, фосфору). Світла кірка – дефект макроструктури в нижній частині злитка: має вигляд світлих смуг, що супроводжуються неметалевими включеннями.

Завороти кірки – дефект являє собою кірки металу, які загорнулися, окислені заливи і бризки, розташовані біля поверхні злитків. У деформованому металі дефект являє собою розрив або часткове відшаровування, що утворилося в результаті розкочування кірок або бризків. При гарячій деформації дефекти витягуються вздовж її напрямку.

Металеві включення – сторонні металеві тіла в основному металі виливка. Такими тілами можуть бути нерозплавлений легуючий компонент, модифікатор, внутрішній холодильник і т.д.

Корольок – металеве включення того ж складу, що і виливок. У більшості випадків включення повністю оточене металом.

Утяжина – поглиблення з пологими краями на масивній частині виливка, що утворилася внаслідок усадки металу при затвердінні. Під утяжиною можливі внутрішні дефекти.

Ужимини – довгі вузькі вм'ятини в тілі виливка, нашарування металу, окремі прошарки формувальної суміші (при литті в піщані форми) або прошарку фарби (при литті в кокіль).

Плени – плівки на поверхні або всередині виливка, що складаються з оксидів, часто з включеннями формувального матеріалу. До утворення плен схильні високолеговані сплави. Плени у виливках виникають у результаті того, що при заповненні форми складові розплаву вступають у хімічну реакцію з атмосферою і матеріалом форми, а з продуктів реакції (окислів хрому, алюмінію, титану і нітридів, що не розчиняються в сплаві) на поверхні розплаву утворюється тугоплавка і щільна

плівка. При механічному руйнуванні цієї плівки в процесі заливання форми окремі шматки її осідають у різних місцях форми.

Спаї – наскрізні або поверхневі із закругленими краями щілини або поглиблення в тілі виливка, утворені потоками передчасно застиглого металу. При уривчастій заливці і нерівномірному надходженні металу у форму іноді виникають внутрішні спаї, однією з причин яких можуть бути окисні плени, що створюють значний опір руху розплаву.

Оксидний спай – порушення суцільності виливка у вигляді незлитих потоків металу, розділених плівкою. Найбільш часто проявляються в тонких перерізах виливка.

Пригар – нерівномірні потовщення з формувальної або стрижневої суміші, просочені металом, що розташовуються в місцях її зіткнення з найбільш гарячими ділянками форми.

Гарячі тріщини – звичайно добре видимі розриви поверхні виливка, що поширюються в межах кристалів і мають нерівну окислену поверхню, на якій при збільшенні видно дендрити. Утворюються внаслідок усадки при застиганні розплаву у формах. Характерними ознаками гарячих тріщин є їх нерівні (рвані) краї і значна ширина.

Холодні тріщини – дуже тонкі розриви поверхні виливка, що мають зазвичай чисту, світлу з кольорами мінливості зернисту поверхню. Утворюються при внутрішніх напруженнях або механічному впливі при температурі нижче температури світіння виливка. На відміну від гарячих тріщин холодні поширюються по зернах, а не по її кордонах, розташовуються вони переважно в гострих кутах та інших місцях концентрації напружень.

Термічні тріщини – звичайно добре видимі глибокі розриви поверхні виливка. Поверхня зламу розкритої тріщини - дрібнозерниста, окислена або з кольорами мінливості. Виявляються ці тріщини у виливках після термічної обробки. Причина виникнення – високі температурні напруження розтягу, що збігаються за знаком із залишковими напруженнями.

Міжкристалічні тріщини являють собою тонкі порушення суцільності, що утворюються на межах кристалів при низькій міцності цих кордонів. Знижена міцність кордонів часто

пов'язана з наявністю на них прошарків неметалевої фази і ліквatів.

Ливарні підрізи – дефекти лиття у вигляді поглиблень у місцях конструктивних концентраторів напружень. Утворення ливарних підрізів пов'язане з недостатньою текучістю металу в процесі відливання деталі через зниження температури.

Викривлення – спотворення геометрії і конфігурації виливка. Виявляється після охолодження виливка у формі, вибивання та заварки.

Відхилення мікроструктури – за видом, кількістю і величиною структурних складових від вимог стандарту.

2.2 Дефекти прокатного і кованого металу

Тріщини бувають поодинокі або групові, розташовані безладно або йдуть у певному напрямку. По довжині вони досягають декількох метрів; глибина тріщин у залежності від розмірів прокату, причин та умов виникнення дефекту – до 10-15 мм.

Штампувальні тріщини (тріщини гарячого деформаційного походження) пов'язані зі зниженою пластичністю матеріалу і мають, як правило, звивистий характер. Характерною структурною ознакою, що свідчить про утворення тріщини в процесі гарячої деформаційної обробки, є об'єднання легуючими елементами матеріалу деталі в зоні її пустот, яке на мікрошліфах проявляється у вигляді спостережуваних білих непротравлених смуг, які містяться на краях тріщини.

Тріщини напруження – дефект, що являє собою спрямовану всередину металу, часто під прямим кутом до поверхні, тріщину, що утворюється внаслідок об'ємних змін, пов'язаних зі структурними перетвореннями або з нагріванням і охолодженням металу.

Флокени являють собою волосні тріщини з кристалічною будовою поверхні стінок, що утворюються всередині товстого прокату або поковок (діаметром більше 30 мм) зі сталей перлітного і мартенситного класів (хромистих, хромонікельвольфрамових, марганцевистих і деяких інших легованих сталей).

Флокени можна спостерігати на зламах у вигляді плям круглої або овальної форми, мають сріблясто-біле блискуче забарвлення і називаються « пластівцями », а на макро- і мікрошліфах – у вигляді прямих, іноді звивистих і зигзагоподібних ліній довжиною від кількох десятків часток міліметра до 10 - 15 мм і більше. У малих перерізах виробів із сильно прокатаної сталі (діаметром менше 25-30 мм) флокени ніколи не виявляються так само, як і в литій сталі. Флокени також не зустрічаються в сталях аустенітного класу.

Характерним для флокенів є розташування у вигляді груп переважно в середній частині прокату або поковки по товщині. Причина утворення флокенів – виникнення значних структурних напруг і окрихчування сталі в серцевині, викликане наявністю водню, який не встиг виділитися з металу при швидкому охолодженні.

Волосовини – дрібні внутрішні або ті, що виходять на поверхню, тріщини, які утворилися з газових пузирів або неметалевих включень при прокаті чи куванні. Вони спрямовані вздовж волокон металу і в поперечному зламі їх видно як точки або лінії невеликої висоти. Шлакові і піщані включення не здатні пластично деформуватися і при обтисненні злитка розпадаються на велику кількість уламків з гострими кутами, утворюючи при витяжці ланцюжки вздовж волокон. Силікати заліза, марганцю та інших елементів при температурі прокатки можуть бути пластичні, тому витягуються уздовж волокон прокатаного металу. Довжина волосовин 20-30 мм, а іноді 100-150 мм. Зустрічаються волосовини у всіх конструкційних сталях.

Розшарування – порушення суцільності всередині прокатаного металу, що являють собою розкатані великі дефекти злитка (глибокі усадочні раковини, усадкова пористість, скупчення пузирів або неметалевих включень).

Характерним для розшарування є те, що поверхня порушення суцільності паралельна площині прокатки. Так, розкатані скупчення неметалевих включень дають внутрішній прошарок, розділяють лист або профіль на дві, три або більше частин.

Внутрішні розриви – порівняно великі порушення суцільності внутрішньої частини заготовки, періодично повторювані по її довжині. Поверхня зламу щодо розриву -

крупнокристалічна. Розриви виникають під впливом сил розтягування внаслідок неоднакової деформації зовнішніх і внутрішніх шарів металу, при прокатці з малою пластичністю. Спостерігаються при прокатці високолегованих сталей.

Розриви, що виникли в початковій стадії прокатки, при подальшій значній деформації можуть утворити розшарування.

Розривини являють собою розриви або надриви металу різноманітного обрису з рваними краями. Найчастіше розташовані на краях листів, профілів. До утворення розривин при прокатці злитків особливо схильні високолеговані сталі з крупнозернистою структурою.

Заходи та закови – вдавлені і закочені (закуті) задирки або піднесення (горбики) на поверхні, що вийшли при попередньому пропуску злитка через калібр прокатного стану. При цьому метал задирки або піднесення не зварюється з основною масою прокату. Захід, що утворився від задирки , схожий на поздовжню тріщину, а від піднесення – на плену з криволінійним незамкнутим контуром. Іноді захід утворюється від залишків усадочної раковини після обрізання верхньої частини злитка з усадочною раковиною. При прокатці раковина не заварюється через окисли на її стінках.

Плени являють собою порівняно тонкі плоскі відшарування на поверхні прокатаного або кованого металу. У більшості випадків плени мають вигляд «язика», у якого розширений і потовщений кінець складає одне ціле з основною масою металу. За розмірами плени бувають від дрібних ледь помітних лусок до 100 мм і більше по довжині і ширині (у товстих листах); товщина плен коливається від десятих часток міліметра до 3-5 мм і більше.

Причинами утворення плен можуть бути незадовільна якість злитків (наявність на поверхні виливка плен, погане розкислення і пузирчастість металу) і порушення режимів прокатки (незадовільна калібрування, неправильна насічка валків, утворення задирок і розривина на початку прокатки).

Прижоги – дефекти, що утворюються при локальному перегріві матеріалу, наприклад у процесі таврування (маркування) деталей електрографом. При металографічному аналізі матеріалу деталей наявність прижогів установлюється по

білих, непротравлених ділянках, які видимі на поверхні травленого шліфа.

2.3 Дефекти, що виникають при різних видах з'єднання деталей

Дефекти зварних з'єднань

Тріщини в наплавленому металі – поздовжні і поперечні. У зламі вони мають темний колір, дуже окислені або світлі, з кольорами мінливості. Причини утворення: 1) неправильно вибрана марка присадного матеріалу; 2) незадовільна якість присадного дроту, обмазки або флюсу; 3) неправильні режими і техніка зварювання; 4) високі внутрішні напруження у швах; 5) наявність у швах пористості або шлакових включень.

Холодні тріщини – у шві та в перехідній зоні розташовані під будь-яким кутом до шва, у зламі світлі або зі слабкими кольорами мінливості. Виникають при охолодженні деталі в зоні знижених температур, переважно при дуговому зварюванні низьколегованої сталі великої товщини. Найчастіше тріщини виникають у перехідній зоні внаслідок неправильної техніки зварювання або неправильно обраного присадного матеріалу.

Гарячі тріщини – в перехідній зоні від шва до основного матеріалу. Вони звивисті, у зламі мають темний колір, дуже окислені, поширюються на межах зерен.

Дрібні тріщини (мікротріщини) – у шві або надриви на перехідній зоні (на нетравлених шліфах під мікроскопом видно у вигляді тонких ліній). Виникають унаслідок незадовільної якості присадного дроту, обмазки або флюсу.

Тріщини, що утворюються у зварних з'єднаннях при термообробці (гарті) вузлів, деталей, можуть мати будь-який напрямок. Виникають через недотримання режимів і умов термічної обробки зварних вузлів або внаслідок незадовільної (нетехнологічної) конструкції деталі або вузла.

Тріщини рихтувальні можуть мати будь-який напрямок, у зламі світлі. Причина утворення – неправильна технологія правки виробів, які отримали викривлення.

Непровар – відсутність сплавлення між основним і наплавленим металом у корені шва або по кромці, а також між окремими шарами – проходами при багатопрохідному зварюванні.

Підріз – дефект, який характеризується наявністю поглиблення між основним і наплавленим металом на ділянці або по всьому периметру зварного шва.

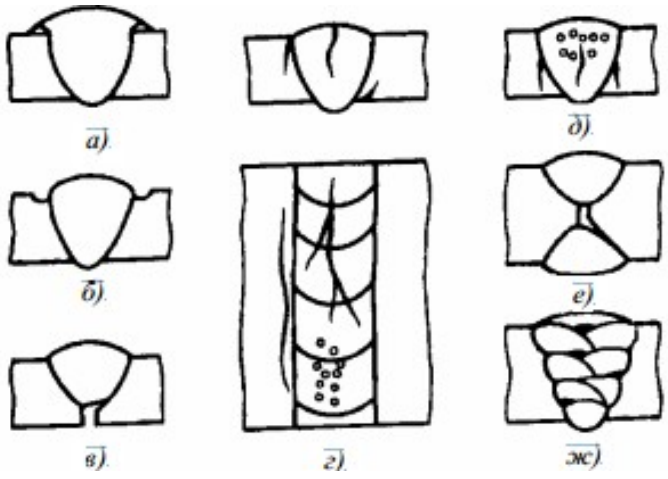
Пропал – дефект у вигляді наскрізного отвору у зварному шві, що утворився в результаті витікання зварювальної ванни.

Пори і раковини – пузирі (зазвичай сферичної форми) різної величини, заповнені газами (водень, окис вуглецю). Утворюються внаслідок наявності газів, що поглинаються рідким металом у процесі зварювання.

Шлакові включення в металі шва – невеликі обсяги, заповнені неметалевими речовинами (шлаками, оксидами). Величина їх коливається від мікроскопічних розмірів до декількох міліметрів у поперечнику. Форма може бути різноманітною – від сферичної до плоскої, витягнутої у вигляді плівки, яка розділяє прилеглі обсяги наплавленого металу.

Відхилення в геометрії зварного шва і зварного з'єднання у вигляді підрізів, канавок, брижі, неповноти заповнення кратера, надлишку металу, кутових і лінійних зміщень, які викликані неправильною технікою зварювання або нетехнологічною конструкцією вузла.

Найбільш характерні дефекти зварних з'єднань наведено на рисунку 1.



а-г - зовнішні; д-ж – внутрішні

Рисунок 1 – Дефекти у зварних з'єднаннях

Дефекти паяних з'єднань

Поздовжня тріщина є розривом металу,який іде паралельно площині спаю. Вона може розташовуватися у шві, в основному металі, в зоні спаю. Виникає під дією власних напружень, що утворюються при складанні, нагріванні під паяння, кристалізації металу шва й охолодження паяного виробу.

Поперечна тріщина – розрив металу, який іде перпендикулярно площині спаю. Вона може виникнути у шві, в основному металі і в зоні спаю. Часто утворюється при паянні різнорідних матеріалів з різними фізико-хімічними властивостями.

Пора і газова раковина – куляста або витягнута площина, заповнена газом. Дефект пов'язаний з хімічними реакціями, що протікають у металі, зі скупченням оксидів і нітридів, з газовиділеннями й усадочними явищами, що відбуваються при переході металу з рідкого стану у твердий.

Розсіяна пористість – розкидані по досить великій області численні пори і (або) раковини. Виникнення цього дефекту пов'язане з хімічним складом сплавів, вона тим більша, чим ширша дифузійна зона сплаву, який твердне.

Зосереджена пористість – локальне скупчення пор і (або) раковин. Утворюється в результаті виділення з металу при кристалізації розчинних у ньому газів.

Ланцюжок пор – пори і (або) раковини, що виникають приблизно по одній лінії. Причиною їх утворення може бути виділення в процесі паяння газів, що утворюються при випаровуванні певних компонентів припаїв і флюсів.

Пора подовжена – заповнена газом червоподібна пустота. Утворюється в результаті недостатнього живлення з'єднувального зазора припаєм і усадочних явищ, що відбуваються при кристалізації.

Пузир (здуття) - велике газове включення поблизу поверхні. Виникає через наявність вологи у флюсі і на заготовках припаю у вигляді адсорбованого локального шару.

Твердотільне включення – дефект у вигляді пори, усередині якої є металевий залишок.

Оксидне включення – пустота, заповнена оксидами. Причини їх пов'язують з хімічними реакціями, що протікають у металі, та зі скупченнями окислів і впливом окисної плівки.

Включення стороннього металу – пустоти заповнені стороннім металом.

Флюсове і шлакове включення – пустоти заповнені флюсом або шлаком. Утворюються внаслідок недбалої підготовки поверхні елементів виробів перед паянням, а також при дуже тривалому нагріванні під паяння, коли флюс, реагуючи з основним металом, утворює тверді залишки, які погано витісняються припаєм.

Непропай – несуцільне заповнення зазора припаєм. Виникає через неправильний температурний режим, недостатнє затікання припаю в зазор у результаті неправильного укладання перед паянням або недостатньої його кількості, включень флюсу, погане очищення поверхні основного металу, недотримання необхідного зазора.

Неспай – відсутність у певних місцях спаю між основним металом і припаєм. Причиною неспаю може бути локальне незмочування основного металу.

Підріз – дефект поверхні в зоні спаю у вигляді поглиблення, розташованого по всій довжині або на окремих ділянках зони спаю. Виникає через неправильне настроювання апаратури та недотримання технології паяння.

Наплив паяння – дефект у вигляді напливу на основний метал припаю, неспаяного з основним металом. Причиною може бути недбале паяння.

Проплавлення – дефект у вигляді наскрізної несуцільності в основному металі. Може виникати через дефекти в основному металі або занадто великій витримці при паянні.

Неповномірний шов – неповне заповнення при з'єднанні припаєм. Можливою причиною утворення може бути недостатнє нагрівання при паянні або недостатня кількість припаю.

Бризки – краплі, які прилипли до поверхні паяного з'єднання при паянні. Причиною виникнення є недбале паяння металу. Може виникати через дефекти в основному металі або занадто великій витримці при паянні.

2.4 Дефекти, що виникають при різних видах обробки деталей

Гартівні тріщини – розриви металу, що виникають при охолодженні деталей переважно складної форми в процесі гартування через високі внутрішні напруження . Вони можуть з'явитися і після гарту на деталях, які тривалий час не піддавалися відпуску, що зменшує внутрішні напруження.

Внутрішні напруження в загартованій деталі складаються з термічних напружень, що з'являються внаслідок термічних об'ємних змін при швидкому і нерівномірному охолодженні деталі, і напружень, що виникають унаслідок об'ємних змін при структурних перетвореннях. Внутрішні напруження значною мірою залежать від вихідної структури деталі, зокрема від наявності карбідів у сталі, від ступеня неоднорідності складу (наявності зональної і дендритних ліквацій) і неоднакової величини зерна сталі в різних місцях деталі.

Високі і нерівномірні внутрішні напруження при недостатній жорсткості деталі викликають її викривлення. Якщо ж деталі мають ослаблений переріз, то можуть виникнути і тріщини. Найбільш імовірні місця зародження гартівних тріщин – місця з різкою зміною перерізу, гострі кути і підрізи.

Однак тріщини при гартуванні нерідко можуть з'являтися і на деталях простої форми. У цьому випадку причиною утворення тріщин можуть бути дефекти матеріалу (волосовини, шлакові включення, флокени, кувальні тріщини) або недотримання режимів термічної обробки деталей.

Відмінною ознакою гартівних тріщин є невизначеність їх напрямку і звивиста форма. Гартівні тріщини зустрічаються групами, але здебільшого число їх на деталі невелике.

Шліфувальні тріщини – група дрібних і тонких розривів, як правило, у вигляді сітки на шліфованій поверхні металу.

Виникають при шліфуванні сталей деяких марок, схильних до утворення тріщин, – загартованих високовуглецевих і легованих.

При шліфуванні тріщини виникають з двох причин: 1) через неправильний режим термообробки деталей, наприклад, дуже різкого охолодження, що призводить до значних внутрішніх напружень; у цьому випадку досить навіть невеликих додаткових напружень термічного та механічного походження, які утворюються в поверхневому шарі при шліфуванні абразивними колами, щоб з'явилися поверхневі шліфувальні тріщини; 2) внаслідок місцевого перегріву металу при порушенні режимів шліфування – застосуванні невідповідного для цього матеріалу або « засмальцьованого » кола, надмірному підвищенні подачі (тиску), швидкості шліфування (тривалої затримки каменю на одному місці) або недостатньому охолодженні. Надмірні місцеві перегріви поверхневого шару загартованих сталей, що характеризуються зниженим коефіцієнтом теплопровідності, викликають у ньому високі внутрішні напруження внаслідок нерівномірних об'ємних змін при поперемінному нагріванні й охолодженні. Ці напруги призводять до утворення сітки шліфувальних тріщин.

У маловуглецевих сталях, що характеризуються більш високим коефіцієнтом теплопровідності і підвищеними пластичними властивостями, утворення тріщин при шліфуванні малоймовірне.

Надриви – неглибокі тріщини, що виникають у деталях у результаті холодної деформації металу, наприклад, при свердлінні або розверстці отворів тупим свердлом або розгорткою, холодному штампуванні, особливо коли метал має недостатньо високі пластичні властивості через дефекти структури. Крім того, надриви можуть утворитися при гарячій деформації (кування, штампування, протягування з великим ступенем деформації) напруження внаслідок нерівномірних об'ємних змін при поперемінному нагріванні й охолодженні. Ці напруження призводять до утворення сітки шліфувальних тріщин.

2.5 Дефекти, що виникають у деталях при експлуатації машин

Тріщини – надриви в поверхневому шарі металу утворюються в результаті високих одноразово прикладених напружень (розтягнення, вигин, крутіння), коли навантаження перевищує міцність деталі, наприклад, при порушенні технології правки деталі, демонтажі або монтажі деталі з крихким поверхневим шаром або при перевантаженні деталі в експлуатації (робота в нерозрахунковому режимі).

Тріщини від утомленості є найбільш поширеними експлуатаційними дефектами. Основна причина руйнувань деталей від утомленості дія високих змінних напруг. Тріщини від утомленості виникають у місцях концентрації напруг: по галтелях, у місцях з різкими переходами перерізів і наявністю підрізів, біля основи різі та зубів шестерень, у кутах шпонкових канавок, в отворах для змащення або в місцях інших конструктивних або технологічних концентраторів напружень. Тріщини від утомленості з'являються також у місцях дефектів металургійного та технологічного походження або слідів грубої механічної обробки поверхні (глибоких рисок, слідів різця і т.п.).

Тріщини від утомленості розрізняють за зовнішнім виглядом. Найчастіше вони бувають двох типів: а) поперечні або кільцеві тріщини, що розвиваються на циліндричних деталях по колу в перерізі , перпендикулярному до осі деталі; б) тріщини, розташовані під кутом до осі деталі.

У зоні руйнування від утомленості немає будь-яких ознак пластичної деформації навіть у найбільш пластичних матеріалах. Ширина розкриття від утомленості тріщини біля виходу її на поверхню в початковій стадії руйнування не перевищує декількох мікрон.

Тріщини від термічної утоми. Руйнування деталей після багаторазового впливу періодично зміних у часі термічних напруг являє собою явище термічної утоми.

Для руйнування при термічній утомі характерне виникнення великої кількості тріщин, що пояснюється локальністю дії термічних напружень і швидкою їх релаксацією. Характерними для термоутоми є тріщини з широкими пустотами і тупими закінченнями – тріщини « розпалу ».

Стінки більшості тріщин інтенсивно окислені. Тріщини термоутоми можуть мати місцеві розширення, коли вони перетинають межі зерен, несприятливо орієнтовані для розвитку по них тріщин.

Тріщини хімічної утоми. Руйнування матеріалу в результаті дії повторно прикладених навантажень і корозійного середовища називають корозійно-утомним руйнуванням. Корозійно-утомні тріщини – це здебільшого численні тріщини, що розгалужуються у міру зростання і закінчуються пучками, що нагадують кореневу систему рослин.

Тріщини контактної утоми – особливий вид руйнування, що являє собою контактні утомні викришування. Поверхневі контактні руйнування – фретинг – корозія або контактна утома є неповними руйнуваннями деталей, а поєднаннями численних, часто дуже дрібних сколів.

Контактне утомне викришування (утворення пітингів) з подальшим розвитком руйнування від утомленості по перерізу деталей спостерігається в таких деталях, як підшипники кочення і ковзання, на зубах шестерень, замкових з'єднаннях та ін.

Кавітаційне розтріскування. Кавітація означає утворення порожнини на поверхні твердого тіла при руйнуванні газоподібних пузирів. Пузирі, що тріскаються, роблять руйнування в шарі металу на межі з рідиною. Кавітація утоми спостерігається, коли стінка,що коливається, межує з рідиною (наприклад, у циклічно навантажених підшипниках ковзання).

Руйнування під впливом водню (воднева крихкість). Під впливом розчиненого водню метали можуть ставати настільки крихкими, що вже при додаванні малого розтягального напруження утворюються тріщини. Джерелами надходження водню може бути термічна дисоціація води при металургійних процесах (лиття, зварювання), дисоціація газів, корозія, гальванічні процеси і т.п.

Тріщини повзучості. Руйнування деталей після пластичної течії їх матеріалу під впливом постійного напруження при відносно високих температурах називається руйнуванням від повзучості.

Для повзучості є характерним численне тріщиноутворення. Великий вплив на характер руйнування чинить розмір зерен і їх

різновид. Для матеріалу з різнорідним зерном характерне міжзернове руйнування в області малих зерен і внутрішньозернове – по найбільших.

Розтріскування під дією термічних напружень. Руйнування під дією термічних напружень відбувається тільки внаслідок теплового градієнта, без докладання зовнішнього механічного навантаження.

Причиною виникнення тріщин при цьому є утворення локальних полів напружень.

Корозійні пошкодження (вогнищеві, міжкристалічні та ін.) зустрічаються на різних деталях. Ступінь корозійного пошкодження залежить від наявності агресивних середовищ, якості захисних покриттів, несприятливого поєднання матеріалів деталей у вузлі та ін. В експлуатації корозією часто уражені закриті, внутрішні пустоти, важкодоступні для огляду.

Корозійне розтріскування – особливо небезпечний вид корозійного руйнування, що відбувається при одночасному впливі статичних розтягальних напружень (зовнішніх чи внутрішніх) і корозійного середовища. При цьому спостерігається крихке руйнування і воно спрямоване перпендикулярно дії розтягальних напружень. Процес розвитку корозійного руйнування складається з трьох стадій: 1) повільний розвиток тріщин, коли процес в основному визначається корозійним фактором; 2) стрибкоподібний, відносно швидкий розвиток тріщин при зростаючому впливі механічного фактора; 3) лавиноподібне руйнування (долом).

Особливістю тріщин при корозійному розтріскуванні є їх значна розгалуженість.

Механічні пошкодження поверхні – забоїни, вм'ятини, надир, ризики, місцевий наклеп. Їх причини можуть бути різноманітними.

ЛЕКЦІЯ 3

Механізація й автоматизація неруйнівного контролю. Загальні вимоги до засобів дефектоскопічного контролю. Види неруйнівного контролю

Механізація й автоматизація неруйнівного контролю

У зв'язку з високим технічним рівнем сучасного виробництва до методів і засобів НК висувають високі вимоги зі швидкодії, механізації та автоматизації контрольних операцій як при виготовленні, так і в експлуатації виробів.

Засоби НК, які використовуються при виготовленні виробів, можна поділити на три групи : засоби неавтоматичного контролю; автомати та автоматичні системи контролю; засоби НК автоматичних систем управління технологічними процесами (АСУТП).

Засоби неавтоматичного контролю призначені для отримання інформації про один або декілька параметрів, що характеризують якість гартування, напівфабрикату, деталі, вузла чи агрегату. Ці засоби застосовуються для ручного контролю, через що їх продуктивність відносно низька. Для підвищення продуктивності і скорочення трудомісткості контролю важливе значення має механізація й автоматизація контрольних операцій.

В автоматах і автоматичних системах (лініях) контролю можуть одночасно використовуватися кілька методів НК, що забезпечують отримання інформації про параметри, що всебічно характеризують якість контрольованого об'єкта. До складу цих систем контролю входять автоматичні транспортуючі, скануючі та сортувальні пристрої, комплекс апаратури НК, дефектовідмітники, індикатори, реєстратори різних видів. Основним призначенням таких систем є розбраковування контрольованих об'єктів за принципом «придатно – брак» для розсортування за одним або декількома параметрами. Наприклад, лінія комплексного НК сталевих прутків здійснює автоматично розбракування за такими параметрами: дефекти порушення суцільності, зневуглецьована ділянка, марка сталей, діаметр прутка.

Засоби НК,що використовуються в АСУТП, призначені для видачі такої інформації, яка може бути використана для автоматичного управління технологічними процесами, наприклад зварюванням, склеюванням та ін. До складу систем АСУТП, крім засобів автоматичних ліній контролю, входять також

спеціалізовані засоби обчислювальної техніки та автоматики для формування управляючих впливів (ГОСТ 17195-71).

Засоби НК, що використовуються для контролю в умовах експлуатації машин, літальних апаратів, енергетичних блоків та інших дорогих або потребуючих забезпечення високої надійності об'єктів, можна поділити на системи вбудованого автоматизованого контролю та автономні.

Системи вбудованого автоматизованого контролю містять у собі датчики для отримання інформації про несправності агрегатів або порушення суцільності матеріалу відповідальних деталей (вузлів), апаратуру обробки та індикації цієї інформації. Контроль здійснюється шляхом «опитування» датчиків за допомогою бортових реєстраторів або підключення до них наземного реєструючого обладнання при проведенні профілактичних робіт. Для отримання інформації про суцільність матеріалу деталі застосовують такі датчики : електричного опору (тензометричні дротові, з фольги, електропровідні емалі, датчики ступеня утоми матеріалу та ін.), датчики емісії хвиль навантаження , ультразвукові, звукові, вібраційні, манометричні та хімічні. Поява несправностей окремих агрегатів виявляється засобами технічної діагностики.

Загальні вимоги до засобів дефектоскопічного контролю

До засобів дефектоскопічного контролю належать дефектоскопи і дефектоскопічні матеріали (проникаючі і флуоресцентні рідини, проявляючі фарби, магнітні порошки, суспензії тощо), допоміжні прилади (рентгеноекспонометри, прилади контролю концентрації суспензії і ступеня розмагніченості деталей, віскозиметри та ін.), необхідні пристосування (контрольні зразки, що фіксують і сканують пристрої, стояки, тубуси, компенсатори та ін).

Дефектоскопи (стаціонарні, пересувні, переносні) за своїм призначенням поділяються на універсальні та спеціалізовані, а останні, у свою чергу – на неавтоматизовані дефектоскопи й автоматизовані комплексні системи контролю. Універсальні дефектоскопи призначені для контролю різних за формою та

розмірами деталей і вузлів, а спеціалізовані – для контролю однотипних деталей.

Дефектоскопічні засоби повинні задовольняти загальні технічні потреби Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації (ГОСТ 12997-67). Основними з них є дотримання принципів агрегатної побудови приладових комплексів, уніфікації і стандартизації приладів і пристроїв. Дефектоскопи повинні бути розроблені за блоковим методом на основі єдиної конструктивної технологічної бази з використанням стандартних елементів, деталей, вузлів і агрегатів.

Для забезпечення можливості включення дефектоскопів в автоматизовані системи (лінії) контролю вони повинні мати високу продуктивність та інформаційну сумісність з іншими агрегатними комплексами і працювати з нормалізованими вхідними та вихідними сигналами.

При розробленні дефектоскопів також повинні враховуватися вимоги метрологічного забезпечення за такими параметрами, як похибка і виявлення дефектів.

У технічних вимогах на створення дефектоскопічних засобів повинні бути визначені такі загальні показники (ГОСТ 4.27-71 і ГОСТ 4.28-71): галузі, місце та умови застосування, продуктивність, чутливість, час установлення робочого режиму, час безперервної роботи, потрібні струм або потужність, середній час безвідмовної роботи, гарантійний термін, габаритні встановлювальні розміри, маса і конструктивні особливості виконання.

Види неруйнівного контролю

До засобів неруйнівного контролю відносять контрольно-вимірювальну апаратуру, у якій використовують проникаючі поля, випромінювання і речовини для отримання інформації про якість досліджуваних матеріалів і об'єктів.

Найбільш поширеними в цей час є такі методи неруйнівного контролю:

- акустичний контроль; ультразвукова дефектоскопія, ультразвукова товщинометрія;
- акустична емісія;
- магнітний контроль (магнітопорошковий);

- контроль проникаючими речовинами (капілярний контроль);
- вихрострумовий контроль;
- електричний контроль;
- радіохвильовий контроль;
- тепловий контроль;
- оптичний контроль;
- радіаційний контроль;
- контроль магнітографічним методом.

ЛЕКЦІЯ 4

Акустичний і електричний методи неруйнівного контролю

Акустичний метод НК

До акустичного методу неруйнівного контролю відносять велику галузь випробування матеріалів і виробів, основану на застосуванні пружних коливань і хвиль, точніше на реєстрації параметрів пружних хвиль, порушуваних або виникаючих в об'єкті неруйнівного контролю.

Для акустичного методу НК застосовують ультразвукове та звукове коливання діапазонів частотою від 50 Гц до 50 МГц. Інтенсивність коливань зазвичай невелика, не перевищує 1 кВт/ м^2. Такі коливання відбуваються в області пружних деформацій середовища, де напруження і деформації пов'язані пропорційною залежністю (область лінійної акустики).

Методи неруйнівного акустичного контролю широко застосовують завдяки ряду їх переваг : хвилі легко вводяться в об'єкт контролю, добре поширюються в металі, бетоні та інших матеріалах; ефективні при виявленні дефектів з малим розкриттям, чутливі до зміни структури і фізико-механічних властивостей матеріалів, не створюють небезпеки для персоналу. Використання різних типів хвиль (подовжніх, поперечних, поверхневих, нормальних та інших) розширює можливості акустичних методів неруйнівного контролю.

Акустичний метод НК застосовується в різних галузях: котлонагляд, системи газопостачання, підйомні споруди, об'єкти гірничорудної промисловості, об'єкти вугільної промисловості, нафтова і газова промисловість, металургійна промисловість,

обладнання вибухопожежонебезпечних і хімічно небезпечних виробництв, об'єкти залізничного транспорту.

Найбільше практичне застосування серед акустичних методів знаходить ехометод – ним контролюють близько 90 % об'єктів. Розрізняють також дзеркально-тіньовий, еходзеркальний, дельта, тіньовий, ехонаскрізний методи, реверберaційний, імпедансний, акустико-топографічний, вібраційно-діагностичний і шумодіагностичний методи акустичного контролю.

Одним з найбільш перспективних методів неруйнівного контролю (щодо контролю технологічних процесів) є метод акустичної емісії (АЕ).

Особливе значення має використання методу АЕ для оперативного контролю абразивної обробки, серед різноманіття видів якої найбільш поширене шліфування. Контроль методом АЕ за своїми можливостями не має аналогів, оскільки дає змогу оцінити ряд параметрів якості обробки (шорсткість, некруглість, хвилястість деталі, ріжучу здатність кола) безпосередньо в процесі шліфування.

Цей метод оснований на виявленні пружних хвиль, що генеруються пружною деформацією напруженого матеріалу. Ці хвилі поширюються від джерела до датчика (датчиків), де вони перетворюються в електричні сигнали. Прилади АЕ вимірюють ці сигнали і відображають дані, на основі яких оператор оцінює стан і поведінку структури під напругою. Зростання тріщини, розлом включення і витік рідини чи газу – ось приклади із сотень процесів, які виробляють акустичну емісію, яка може бути виявлена й ефективно досліджена за допомогою цієї технології.

Електричний метод

Метод оснований на реєстрації параметрів електричного поля, що взаємодіє з контрольованим об'єктом (власне електричний метод), або поля, що виникає в контрольованому об'єкті в результаті зовнішньої дії (термоелектричний метод). Його застосовують для контролю діелектричних і провідних матеріалів. Методи електричного контролю (електростатичний порошковий, термоелектричний, електроіскровий, електричного потенціалу, ємнісний) дають змогу визначати дефекти різних

матеріалів, вимірювати товщини стінок, покриттів та шарів, сортувати метали за марками, контролювати діелектричні і напівпровідникові матеріали.

Недоліками перерахованих методів електричного НК є необхідність контакту з об'єктом контролю, жорсткі вимоги до чистоти поверхні виробу, труднощі автоматизації процесу вимірювання та залежність результатів вимірювання від стану навколишнього середовища.

ЛЕКЦІЯ 5

Магнітопорошковий, магнітографічний і вихрострумовий методи неруйнівного контролю

Магнітопорошковий метод НК

Магнітопорошковий метод НК ґрунтується на явищі тяжіння частинок магнітного порошку магнітними потоками розсіювання, що виникають над дефектами в намагнічених об'єктах контролю.

Наявність і протяжність індикаторних рисунків, викликаних полями розсіювання дефектів, можна реєструвати візуально або автоматичними пристроями обробки зображення.

Магнітопорошковий метод призначений для виявлення поверхневих і підповерхневих порушень суцільності: волосовин, тріщин різного походження, непроварів зварних з'єднань, флокенів, заходів, надривів і т.п. Метод може бути використаний також для контролю об'єктів з немагнітними покриттями.

Чутливість магнітопорошкового методу НК визначається магнітними характеристиками матеріалу, його формою, розмірами і шорсткістю поверхні, напруженістю, що намагнічує поле і дефект, місцем розташування й орієнтацією дефектів, взаємним напрямком намагнічування поля і дефекту, властивостями дефектоскопічного матеріалу, способом його нанесення на об'єкт контролю, а також способом і умовами реєстрації індикаторного рисунка дефектів, що виявляються.

Вид, місце розташування й орієнтація неприпустимих дефектів, а також необхідний рівень чутливості контролю конкретних виробів установлюються в галузевій нормативно-технічній документації на контроль виробів.

При проведенні технічного діагностування магнітопорошковим методом застосовують стаціонарні, пересувні і переносні дефектоскопи, а також магнітні дефектоскопічні матеріали : порошки, суспензії, магнітогумовані пасти.

Магнітографічний метод неруйнівного контролю

Магнітографічний метод НК служить для виявлення в стиках зварних швів трубопроводів з низько-і середньолегованих і вуглецевих феромагнітних сталей зовнішніх і внутрішніх тріщин, непроварів, ланцюжків шлакових включень і шпар, орієнтованих переважно вздовж шва, а також інших сторонніх включень, що різко відрізняються за своїми магнітними властивостями від металу зварного з'єднання.

Мінімальна величина дефекту, що виявляється, повинна бути не більше 10 % від товщини основного зварного з'єднання.

При контролі стикових швів, виконаних одностороннім зварюванням, цей метод не гарантує виявлення кореневих непроварів величиною менше 5 % від товщини стінки труб, а також одиночних шлакових включень і газових шпар округлої форми, що мають відносну величину менше 15 % і розташованих на значній глибині від поверхні шва, тобто ближче до його контролю.

Магнітографічний контроль слід проводити після закінчення зварювання труб, остигання стикового шва до температури нижче плюс 60 ° С, до початку ізоляційних робіт.

Магнітографічному контролю можуть підлягати стикові з'єднання труб одного і того ж діаметра, з однаковою товщиною стінки, а також зварні з'єднання труб з різними стінками , якщо товщини стінок труб, що стикуються, відрізняються.

Для проведення магнітографічного НК стикових зварних швів трубопроводів застосовують: магнітну стрічку; пристрій, що намагнічує; пристрій, що відтворює; джерело електричного струму для живлення електромагніта пристрою, що намагнічує; допоміжний пристрій для притиснення магнітної стрічки до поверхні контрольованого зварного шва і фіксації на ньому; пристрій, що розмагнічує; випробувальний зразок для

виготовлення контрольної магнітограми; контрольну магнітограму для настройки чутливості дефектоскопа.

Вихрострумовий метод неруйнівного контролю

Вихрострумовий метод оснований на аналізі взаємодії електромагнітного поля, створюваного вихрострумовим перетворювачем з контрольованим електропровідним об'єктом контролю. Діапазон частот – від одиниць герц до сотень мегагерц. Вихрострумовий метод НК застосовується для дефектоскопії, структуроскопії, визначення товщини покриттів, розмірів, провідності і якості термічної обробки.

Цілі використання: виявлення дефектів типу порушення суцільності (тріщіни, волосовини, включення); вимірювання розмірів та метрологія (товщина стінок і товщина покриттів; визначення фізико-механічних властивостей; визначення компонентного та хімічного складу; визначення динамічних характеристик (вплив термообробки).

Галузі застосування: контроль матеріалів (метали, сплави); контроль технологічних операцій; контроль підповерхневих шарів і підкладок, управління сортуванням матеріалів і деталей; діагностика (виявлення експлуатаційних дефектів).

ЛЕКЦІЯ 6

Капілярний, тепловий і оптичний методи неруйнівного контролю

Капілярний метод неруйнівного контролю

Капілярний контроль – метод НК, оснований на капілярному проникненні індикаторних рідин (пенетрантів) в пустоти поверхневих і наскрізних несуцільностей матеріалу об'єкта контролю.

Процес капілярного контролю може бути розділений на три основні стадії: нанесення на контрольовану поверхню пенетранта, видалення надлишків пенетранта з поверхні і прояв

індикацій. При проведенні капілярного контролю використовують комплект дефектоскопічних матеріалів, що включає: пенетрант, очисник, проявник, причому ці матеріали взаємозалежні.

Індикаторний пенетрант проникає у відкриті з поверхні пустоти і залишається там, у той час як пенетрант видаляється з поверхні об'єкта контролю за допомогою різних очисників. Після цього індикаторний пенетрант, що залишився в несуцільності, витягується звідти, наноситься на поверхню проявником з утворенням індикаторного рисунка, який помітний набагато краще, ніж сама несуцільність.

Як проникаючі речовини використовуються кольорові та люмінесцентні пенетранти. Процесу контролю повинні передувати стадія підготовки поверхні з використанням процедури очищення. Індикації, що проявилися, повинні бути правильно оцінені, а контрольовані деталі після завершення контролю повністю очищені від залишків дефектоскопічних матеріалів.

Капілярний контроль – один з найбільш широко використовуваних у промисловості методів НК. Його застосовують для виявлення невидимих або слабовидимих неозброєним оком поверхневих дефектів в об'єктах будь-яких розмірів і форм, виготовлених з металевих або будь-яких інших твердих непористих матеріалів. Цей метод дає змогу виявляти дефекти виробничо-технологічного та експлуатаційного походження, будь-якої геометрії розміром близько 1 мкм і більше.

Тепловий метод НК

Метод оснований на реєстрації зміни теплових або температурних полів об'єктів. Він застосовується до об'єктів з будь-яких матеріалів. Розподіл температур у виробі залежить від його властивостей: геометричних параметрів, хімічного складу, наявності дефектів та ін. За характером взаємодії теплового поля з об'єктом контролю розрізняють методи : пасивний (на об'єкт не впливають зовнішні джерела енергії) і активний (об'єкт нагрівають або охолоджують від зовнішнього джерела).

Недоліком цього методу є необхідність використання контактних пристроїв, що ускладнює процеси автоматизації при безперервних вимірах і контролі рухомих об'єктів. При безконтактних вимірюваннях виникають достатньо жорсткі вимоги до чистоти навколишнього середовища.

Оптичний метод НК

Метод оснований на спостереженні або реєстрації параметрів оптичного випромінювання, що взаємодіє з об'єктом контролю. Ця взаємодія пов'язана з поглинанням, відбиттям, розсіюванням, дисперсією, поляризацією та іншими оптичними ефектами.

Цей метод застосовують для вимірювання геометричних параметрів виробів контролю стану поверхні і виявлення поверхневих дефектів. Оптичний метод має широке застосування завдяки великій різноманітності способів отримання первинної інформації. Можливість його застосування не залежить від матеріалу об'єкта. Оптичний метод широко застосовуються для контролю прозорих об'єктів. У них виявляють макро- і мікродефекти, структурні неоднорідності, внутрішні напруження.

Недоліками оптичного методу є вузький діапазон контрольованих параметрів, жорсткі вимоги до стану навколишнього середовища та чистоти поверхні виробу.

ЛЕКЦІЯ 7

Радіохвильовий і радіаційний методи неруйнівного контролю

Радіохвильовий метод НК

Цей метод НК базується на реєстрації змін параметрів електромагнітних хвиль радіодіапазону, що взаємодіють з контрольованим об'єктом. Зазвичай використовують хвилі надвисокочастотного (НВЧ) діапазону з довжиною від 1 до 100 мм.

Контролюють вироби з матеріалів, де радіохвилі не надто сильно затухають: діелектрики (пластмаси, кераміка,

скловолокно), магнітоелектрики (ферити), напівпровідники, тонкостінні металеві об'єкти. За характером взаємодії з предметом розрізняють методи відбитого, розсіяного випромінювання і резонансного.

При використанні цього методу контролю наявність дефектів у досліджуваних об'єктах призводить до появи додаткових відбивань електромагнітного поля, які змінюють інтерференційну картину і викликають додаткові втрати енергії.

Цей метод застосовується в дефектоскопії діелектриків, а також при дослідженні стану поверхні тіл,що проводять струм.

Недоліком НВЧ методу є порівняно низька роздільна здатність пристроїв, що реалізують цей метод, обумовлена невеликою глибиною проникнення радіохвиль у метали.

Радіаційний метод НК

Метод оснований на реєстрації та аналізі проникаючого іонізуючого випромінювання після його взаємодії з об'єктом контролю.

Залежно від природи іонізуючого випромінювання види контролю поділяють на підвиди : рентгенівський, гамма-, бета-(потік електронів), нейтронний. Найбільш широко використовують для контролю рентгенівське і гамма випромінювання. Їх можна використовувати для контролю об'єктів з різноманітних матеріалів, підбираючи сприятливий частотний діапазон. Ці методи, в основному, застосовуються в дефектоскопії, вимірюванні геометричних і структурних особливостей матеріалу.

До недоліків цих методів належать підвищені вимоги до техніки безпеки, складність, дорожнеча і громіздкість апаратури, а також обмеження, пов'язані з порівняно невеликою товщиною об'єктів контролю.

ЛЕКЦІЯ 8

Неруйнівний контроль при ремонті та технічному обслуговуванні рухомого складу

На підприємствах з ремонту рухомого складу залізниць Німеччини та Франції застосовуються ультразвукові, магнітопорошкові, вихрострумові, візуальні, капілярні і рентгенографічні методи неруйнівного контролю. Основним об'єктом неруйнівного контролю рухомого складу є колісні пари.

При надходженні колісних пар у ремонт на першій позиції технологічного процесу на автоматизованій установці ультразвукового контролю з елекромагнітоакустичними перетворювачами вимірюються залишкові механічні напруження в колесах (для рухомого складу з колодковими гальмами). Забраковані колісні пари направляють на термообробку. У дробоструминній установці сталевим дробом (діаметром близько 1 мм) очищаються диски коліс, а також зони контакту ультразвукового перетворювача з поверхнею осі. Далі за допомогою оптичної або лазерної автоматизованої вимірювальної установки виконуються контроль геометричних параметрів і обточування колісних пар. Установки вимірюють діаметри і профілі коліс по колу кочення, відстань між внутрішніми гранями, ширину обода, довжину і діаметр шийок. Колісна пара підйомним пристроєм установлюється на стенд і приводиться в обертання фрикційним роликом. На оптичній установці профілі обох коліс видно на екрані на фоні шаблону стандартного профілю. Лазерна установка забезпечує автоматичний контроль з електронною паспортизацією цих колісних пар колії 1435 мм діаметром від 630 до 1005 мм масою до 2 т. Час перевірки колісної пари – близько 5 хв.

Неруйнівний контроль суцільнокатаних колісних пар при ремонті здійснюється з використанням автоматизованої установки AURA (Німеччина), оснащеної маніпуляторами зі скануючими пристроями для ультразвукового і вихрострумового контролю та багатоканальною системою збору та обробки даних.

Контроль поверхні кочення на наявність термічних тріщин (утворюються при гальмуванні колодковими гальмами) здійснюється з використанням вихорострумових перетворювачів. Для забезпечення високої перешкодозахищеності блоки електроніки ультразвукового модуля обробки даних поміщені в безпосередній близькості від датчиків на маніпуляторі

скануючого пристрою. У сучасних модифікаціях використовуються багатоелементні перетворювачі з фазованими гратами, що дає змогу скоротити кількість датчиків. Переміщення скануючих пристроїв, подача контактуючої рідини (вода) і контрольні операції здійснюються автоматично. Час перевірки колісної пари – 7 хв.

Залежно від модифікації установки контроль осей і коліс виконується роздільно або на одній позиції. Контроль осі здійснюється в зонах найбільш імовірного утворення тріщин (шийка осі, підматочинна частина, місця посадки гальмівних дисків) за допомогою багатоелементних ультразвукових перетворювачів, що встановлюються на циліндричні поверхні осі. Перетворювач складається з 64 чутливих елементів, кожен з яких має певний кут введення ультразвуку. Час перевірки осі – 4-5 хв. У більш пізніх модифікаціях установки застосовують ультразвукові перетворювачі з фазованими гратами (4 групи перетворювачів), що дають змогу істотно розширити діаграму спрямованості (кут введення променя може змінюватися від 28 до 72°).

Використання установки дає змогу виконати весь спектр контрольних операцій в автоматичному режимі з електронною паспортизацією даних. Остаточне рішення про придатність колісної пари приймає оператор.

Магнітопорошковий контроль дисків суцільнокатаних коліс рухомого складу проводять вручну із застосуванням люмінесцентних магнітних індикаторів. Намагнічування колеса здійснюється за секторами соленоїдом змінного струму (способом прикладеного поля). Розмагнічування колеса при цьому не потрібне.

Якість магнітного індикатора (магнітної суспензії) перевіряється на стандартному зразку – диск зі шліфувальними тріщинами . Достатність освітлення ультрафіолетового опромінювача перевіряється за допомогою люксметра. Для кращої виявлюваності дефектів в ультрафіолетовому освітленні робоче місце затемнене.

Технологія неруйнівного контролю деталей буксового вузла обмежена візуальним оглядом роликів, сепараторів і кілець без розбирання підшипників (підшипники на залізницях Німеччини

та Франції не ремонтують). Слід зазначити підвищену увагу до якості очищення підшипників, корпусів букс та інших деталей буксового вузла перед проведенням контролю.

Для проведення контролю колісних пар у процесі експлуатації в оглядових канавах (на естакадах) пунктів технічного обслуговування високошвидкісних поїздів ICE використовуються установки UFPE. Установки здійснюють ультразвуковий контроль дисків колісних пар методом V- потрібного прозвучування, для чого використовуються 4 групи перетворювачів з фазованими гратами, що працюють на частоті 2 МГц (в перших модифікаціях установок використовувалися 17 і 12 вимірювальних головок для тягових і ходових колісних пар відповідно). Як контактна рідина використовується вода.

Для перевірки різних типів колісних пар (різний діаметр коліс) використовують змінні модулі та вимірювальні головки із змінною геометрією. Час перевірки однієї колісної пари менше 10 хв. За останні роки розроблені різні модифікації установки, що дають змогу перевіряти одночасно дві колісні пари, що забезпечує підвищену продуктивність і скорочує час простою поїзда при ремонті та обслуговуванні. Установки впроваджуються в депо з обслуговування швидкісних поїздів ICE всіх модифікацій з 2000 р. Щорічно ними вибраковується близько 1 % перевірених колісних пар.

Контроль порожнистих осей здійснюється ультразвуковим методом за допомогою автоматизованих мобільних MPS 01 і стаціонарних MPS 02 установок. До складу мобільного комплексу HPS 01 входять тримач головок, телескопічна штанга і візок для під'їзду й установлення. Переміщення перетворювачем здійснюється всередині осі по гвинтовій траєкторії, кут введення променів – 0,37 або 45° залежно від діаметра отвору в осі. Час перевірки складає 20 – 25 хв.

Перша установка впроваджена у 2002 р. в депо Гамбург. Всього на підприємствах з ремонту та обслуговування високошвидкісних і приміських поїздів використовується 16 таких установок. Стаціонарна автоматизована установка HPS 02 обладнана трьома вимірювальними головками на телескопічному

маніпуляторі і дає змогу контролювати різні типи порожнистих осей діаметром від 30 до 90 мм.

Для залізниць Німеччини ведуться перспективні розробки систем неруйнівного контролю колісних пар при русі потяга зі швидкістю до 5 км / год. Датчики встановлюються уздовж спеціальних рейок у вигляді матриці 4х130 шт. і здійснюють контроль дисків ультразвуковим методом. Для виявлення дефектів у гребені коліс використовують 80 додаткових перетворювачів. Як контактна рідина використовується вода.

Неруйнівний контроль локомотивів на залізницях Франції здійснюється переважно ручними приладами на механізованих позиціях. При здійсненні магнітопорошкового контролю великогабаритних деталей переміщення пристрою, що намагнічує, поворот і фіксація контрольованої деталі в довільному положенні механізовані. Подача суспензії здійснюється вручну з пластикової ємності з розпилювачем.

Величина магнітного поля оцінюється за показниками амперметра генератора струму пристрою, що намагнічує (допустима для роботи зона виділена на індикаторі кольоровим маркуванням, яке наноситься при атестації установки).

Особливістю організації ультразвукового контролю на залізницях Франції є заборона використання заздалегідь установлених програмних налаштувань. На підприємствах з ремонту та обслуговування високошвидкісних поїздів TGV для скорочення часу перевірки використовуються автоматизовані установки, аналогічні застосовуваним у Німеччині.

Велике поширення на залізницях Франції отримали капілярні методи контролю для виявлення поверхневих дефектів великогабаритних деталей (рами візків, картери дизелів) і деталей, виготовлених з немагнітних матеріалів (алюмінієві сплави, леговані сталі, композиційні матеріали). Використовуються два види пенетрантів на основі вуглеводнів – кольорові (забарвлені) для виявлення великих дефектів на великих площах поверхонь і флюоресцентні – для пошуку «тонких» дефектів.

Пенетранти на основі уайт -спіриту не застосовуються у зв'язку з небезпекою для людини і низькою ефективністю використання засобів індивідуального захисту. Діапазон робочих

температур більшості застосовуваних пенетрантів 10-50° С. У ряді випадків можуть використовуватися спеціальні засоби з діапазоном, зміщеним у бік більш високих або низьких температур. Для візуалізації дефектів використовуються рідкі проявники на базі летких розчинників. Видаляють пенетрант і проявник водою.

Типовий час дефектоскопії рами візка локомотива капілярним методом становить 2 год (без урахування підготовчих операцій з очищення поверхні), витрата пенетранта при нанесенні пензликом - 1 л.

З деталей зчіпного пристрою в незначному обсязі проводиться контроль магнітопорошковим способом (або рентгеноскопією) гаків, переважно після виконання зварювальних робіт.

Система стандартів у галузі неруйнівного контролю концерну DB включає якість поставлених деталей рухомого складу, кваліфікацію персоналу та організацію навчання, технологічні процеси та їх складові, вимоги до метрологічного забезпечення, аналіз результатів, моніторинг та менеджмент.

Головною організацією в галузі нормативно-технічної документації на залізницях Німеччини є DB Systemtechnik. Для розроблення стандарту створюється робоча група за участю провідних фахівців цього підрозділу, представників експлуатуючих організацій концерну DB, наукових центрів і підприємств-виробників продукції. Узгодження розроблених стандартів здійснюється Федеральним відомством залізничного транспорту (EBA).

Контрольні зразки (колісні пари зі штучними дефектами і т.д.) централізовано виготовляються і проходять періодичну метрологічну атестацію у випробувальному центрі DB Systemtechnik. Як характерну особливість засобів метрологічного забезпечення слід відзначити значне поширення контрольних зразків одноразового застосування, використовуваних для перевірки якості магнітної суспензії і пенетрантів.

Вимоги до організації та якості підготовки персоналу НК визначені міжнародним стандартом EN 473. Відповідальним за неруйнівний контроль на підприємствах є технічний директор. Контроль якості проведення НК виконує керівник групи, що має

другий або третій рівень і який має додаткове навчання на спеціалізованих курсах.

Дефектоскопісти, як правило, мають перший рівень і при неповній зайнятості можуть виконувати інші операції на ремонтній ділянці. Сертифікація персоналу для підприємств DB не є обов'язковою за умови, що відповідальний за НК має рівень кваліфікації не нижче другого за методами НК, застосовуваними на цьому підприємстві. Персонал, що проводить операції контролю, проходить початкову підготовку та періодичне (раз на 5 років) підвищення кваліфікації, а також щорічну перевірку стану зору (для операторів, що здійснюють візуальний, магнітопорошковий і капілярний контроль).

На залізницях Німеччини підготовку дефектоскопістів здійснюють за єдиною програмою, але з поділом на НК рейок і рухомого складу. Час підготовки фахівця за програмою першого рівня становить 40 год. Для роботи на автоматизованих установках проводиться додаткове навчання.

Підготовка персоналу з неруйнівного контролю на залізницях Франції здійснюється в дорожньому навчальному центрі в Руані. Річна програма навчання – 250 осіб. Систему підготовки відрізняє вузька спеціалізація за видами контролю та типами контрольованих деталей. Оператор готується для конкретної технологічної ділянки та операції, за рахунок цього скорочується час підготовки при забезпеченні високоякісних практичних навичок виявлення дефектів. Так, навчання оператора ультразвукового контролю колісних пар першого рівня триває 12 днів, періодичне підвищення кваліфікації – чотири дні. Подальше навчання на другий рівень займає 12 днів. Для магнітопорошкового методу відповідно чотири дні навчання на перший рівень, один день – підвищення кваліфікації, сім днів для навчання на другий рівень. Для капілярного методу – чотири дні на перший рівень, шість днів на другий і один день – періодичне підвищення кваліфікації.

Список літератури

1 НК и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 226 с.

2 ГОСТ 18353 - 79 Классификация акустических методов контроля. – Взамен ГОСТ 18353-73; введ. 01.07.80. – М.: Изд-во

стандартов, 1979. – 13 с.

3 ГОСТ 28517-90 Контроль неразрушающий. Масс-спектрометрический метод течеискания. Общие требования. – Введ. 01.07.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.

4 ГОСТ 23483-79 Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования. –. Введ. 01.07.80. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 11 с.

5 ГОСТ 18576-96 Контроль неразрушающий. Рельсы железнодорожные. Методы ультразвуковые. – Взамен ГОСТ 18576-85; введ. 01.01.02. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 28 с.

6Металловедение и термическая обработка стали: Справочник: В 3 т. / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1991. – Т.1: Методы испытания и исследования: В 2 кн – 304 с.