

## **Тема 2 Дефекти продукції та їх виявлення**

*Мета вивчення теми* – ознайомлення з основними дефектами, що виникають на різних стадіях виробництва та експлуатації деталей.

План лекції ( 4 год):

1. Класифікація дефектів.
2. Дефекти металевих заготовок.
3. Дефекти з'єднання матеріалів.
4. Експлуатаційні дефекти.
5. Дефекти неметалевих заготовок.

### **2.1 Класифікація дефектів**

**Дефектом** називають кожну окрему невідповідність продукції вимогам, установленим нормативною документацією ( ДЕРЖСТАНДАРТ, ГОСТ, ТУ і т.д.). До невідповідностей відносяться порушення суцільності матеріалів і деталей, неоднорідність складу матеріалу (наявність включень, зміна хімічного складу, наявність інших фаз матеріалу, відмінних від основної фази, і ін). Дефектами є також будь-які відхилення параметрів матеріалів, деталей і виробів від заданих, таких, як розміри, якість обробки поверхні, волого- і теплостійкість і ряд інших фізичних величин.

Дефекти підрозділяються на **явні** (ті, що виявляються очами) і **сховані** (внутрішні, підповерхневі, нерозрізнені оком).

Залежно від можливого **впливу дефекту** на службові властивості деталі дефекти можуть бути:

- **критичними** - дефекти, при наявності яких використання продукції по призначенню неможливо або виключається з міркувань безпеки й надійності;
- **значними** - дефекти, що суттєво впливають на використання продукції й/або на її довговічність, але, що не є критичними);
- **малозначними** - не виявляють впливу на працездатність продукції).

Дефекти діляться на **усувні** ( дефекти, усунення яких технічно можливо й економічно доцільно) і **неусувні** (дефекти, усунення яких технічно неможливо або економічно недоцільно).

**По походженню** дефекти виробів підрозділяють на:

- **виробничо-технологічні** (металургійні, що виникають при виливку й прокатці, технологічні, що виникають при виготовленні, зварюванні, різанні, пайку, клепці, склеюванні, механічній, термічній або хімічній обробці й т.п.);
- **експлуатаційні** (виникаючі після деякого наробітку виробу в результаті утоми матеріалу, корозії металу, зношування тертьових частин, а також неправильної експлуатації й технічного обслуговування);
- **конструктивні** дефекти, що є наслідком недосконалої конструкції

через помилки конструктора.

З метою вибору оптимальних методів і параметрів контролю проводиться класифікація дефектів по різних ознаках: по розмірах дефектів, по їхній кількості й формі, по місці розташування дефектів у контрольованому об'єкті і т.д.

Розміри дефектів можуть змінюватися від часток міліметрів до як завгодно великої величини. Практично розміри дефектів лежать у межах від 0,01 мм до 1 см.

В ультразвуковій дефектоскопії, наприклад, величина розміру дефекту впливає на вибір робочої частоти.

**При кількісній класифікації** дефектів розрізняють три випадки:

а) *одиначні дефекти*;

б) *групові* (множинні) дефекти

в) *суцільні* дефекти (звичайно у вигляді газових міхурів і шлакових включень у металах).

При класифікації дефектів **за формою** розрізняють три основні випадки :

а) *дефекти правильної форми*, овальні, близькі до циліндричної або сферичній формі, без гострих країв;

б) *дефекти чечевицеподібної форми*, з гострими краями;

в) *дефекти довільної, невизначеної форми*, з гострими краями – тріщини, розриви, сторонні включення.

Форма дефекту визначає його небезпеку з погляду руйнування конструкції.

Дефекти правильної форми, без гострих країв, найменш небезпечні, тому що навколо них не відбувається концентрації напруг. Дефекти з гострими краями є концентраторами напруг. Ці дефекти збільшуються в процесі експлуатації виробу по лініях концентрації механічних напруг, що, у свою чергу, приводить до руйнування виробу.

При класифікації дефектів **по положенню** розрізняють чотири випадки :

а) *поверхневі дефекти* - розташовані на поверхні матеріалу, напівфабрикату або виробу (це тріщини, вм'ятини, сторонні включення);

б) *підповерхневі дефекти* – це дефекти, розташовані під поверхнею контрольованого виробу, але поблизу самої поверхні;

в) *об'ємні дефекти* – це дефекти, розташовані усередині виробу;

г) *наскрізні* – обумовлені наявністю фосфовидних і нитридних включень і прошарків.

За формою поперечного переріза наскрізні дефекти бувають круглі (пори, свищі, шлакові включення) і щілиноподібні (тріщини, непровари, дефекти структури, несучільності в місцях розташування оксидних і інших включень і прошарків).

За величиною ефективного діаметра ( для дефектів округлого перетину) або ширині розкриття ( для щілин, тріщин) наскрізні дефекти підрозділяються на звичайні ( $>0,5$ мм), макрокапілярні ( $0,5 \dots 2 \cdot 10^{-4}$  мм) і мікрокапілярні ( $<2 \cdot 10^{-4}$  мм).

По характеру внутрішньої поверхні наскрізні дефекти підрозділяються на гладкі й шорсткуваті. Щодо гладкої є внутрішня поверхня шлакових каналів.

Внутрішня поверхня тріщин, непроварів і вторинних порових каналів, як правило, шорсткувата.

Положення дефекту впливає як на вибір методу контролю, так і на його параметри. Наприклад, при ультразвуковому контролі положення дефекту впливає на вибір типу хвиль: поверхневі дефекти найкраще визначаються рэлеевськими хвилями, підповерхневі – головними хвилями, а об'ємні – об'ємними (поздовжніми) хвилями.

Небезпека впливу дефектів на працездатність залежить від їхнього виду, типу й кількості. Класифікація можливих дефектів у виробі дозволяє правильно вибрати метод і засобу контролю.

## 2.2 Дефекти металевих заготовок

**Дефекти плавки й лиття.** Дефекти сталеплавильного походження є наслідком порушення або недосконалості технології при виробництві злитків при виплавці й розливанню, а також при їхній подальшій переробці в блям і катану заготовку.

Одним з основних дефектів плавки є *невідповідність металу заданому хімічному складу*, яка обумовлюється помилками при розрахунках шихти, неправильним веденням плавлення або вигорянням окремих компонентів сплаву.

Через неправильне живлення виливків в процесі кристалізації утворюються *усадочні раковини й рихлоти*. Усадочні раковини – це порівняно більші відкриті або закриті порожнини довільної форми із грубої шорсткуватої, іноді окисненої, поверхнею виливки, що перебувають у тілі. Усадочні раковини розташовані звичайно в стовщених місцях виливків, де метал твердіє в останню чергу. Рихлота – місцеве скупчення дрібних усадочних раковин при грубозернистій структурі металу. Ці дефекти впевнено виявляються акустичними й радіаційними методами контролю.

Деякі сорти металів, наприклад сталь, що кипить, варять так, щоб розчинені в металі гази виділялися не повністю. Це зменшує розміри усадочної раковини, але може привести до утворення газової пористості. *Пористість* – місцеве скупчення газових міхурів або усадочних раковин. Газові міхури являють собою отвори круглої або овальної форми на поверхні злитків, спрямовані вглиб у вигляді капсул, викликані виділенням газів з рідкого металу в процесі охолодження й кристалізації, а також влученням газів у метал при розливанні.

Якщо пори й газові міхури в злитку мають неокиснену поверхню, то вона заварюється в процесі обробки тиском. У високоякісній виливці міхури й пори неприпустимі, для їхнього виявлення використовуються методи радіаційного контролю.

Специфічним дефектом литого металу є *ліквація* – неоднорідність хімічного складу по кістякові дендрита й об'єму зерна. Ліквація по щільності металу проявляється в збагаченні нижньої частини злитка або виливка компонентами з більшою щільністю в результаті поганого перемішування

рідкого металу. Зональна ліквіація проявляється в збагаченні легкоплавкими складовими центральної частини злитка.

Загальними дефектами для злитка й виливки є **неметалічні включення**. Це можуть бути піщані або шлакові раковини, включення часток окислів, сульфідів, силікатів, нітридів, що утворюються усередині металу внаслідок взаємодії компонентів при розплавленні й заливанню сплаву, як правило, розташовані у вигляді ланцюжків або сітки. При перевищенні певних розмірів перераховані дефекти неприпустимі. При обробці тиском вони лише деформуються (розплющуються, розкатуються), але не усуваються.

Неметалічні включення виявляються радіаційними й акустичними методами, а у випадку виходу включень на поверхню – методами поверхневої дефектоскопії.

Зовнішні дефекти у вигляді пленів, неслитин і неспаїв виявляються поверхневими методами дефектоскопії, внутрішні – акустичним контролем. При обробці злитка тиском ці дефекти не усуваються, а віддаляються зачищенням поверхні або вирубанням.

Найнебезпечнішим дефектом виливків є **гарячі й холодні тріщини**. Характерними ознаками гарячих тріщин є їхні нерівні (рвані) края й значна ширина. **Гаряча (кристаллизаційна) тріщина** представляє вузький, злегка звивистий, переривчастий розрив металу з нерівними, сильно окисненими стінками, що звужується вглиб, розташовані перпендикулярно поверхні. Вони утворюються при кристалізації в поверхневих шарах злитка. Тріщини можуть бути на кутах і на гранях, поздовжніми, поперечними й косорозташованими. Це залежить від напрямку розтягувальних напружень, що виникають у процесі кристалізації.

Внутрішні тріщини виявляються радіаційним і акустичним контролем. Тріщини виправляються вирубкою й подваркою металу з обов'язковим наступним контролем на відсутність тріщин у місцях ремонту.

Наявність графітних включень утрудняє дефектоскопію всіх типів чавуну (крім білого, який застосовують порівняно рідко). При радіаційному методі контролю скупчення графітних включень можуть бути помилково класифіковані як дефекти. Акустичний контроль у цьому випадку проводиться при знижених частотах і також утруднений наявністю неправильних сигналів від графітних включень. Для контролю й форми графітних включень вимірюють швидкість і загасання ультразвуку. Чим менше середній розмір графітних включень і більше їх форма, тем вище швидкість ультразвуку й менше його загасання.

**Заворот корки** представляє поперечне подворачивание окисненої корки металу в тіло злитка по всім периметру або його частині. Як правило, ці дефекти мають групове розташування поперек злитка й можуть утворюватися по всій висоті злитка або його частини паралельно один одному. У місці розташування завороту корки (у місцях підгортання) немає щілин, розривів, звивистих і інших зигзагообразних тріщин, тому що частина, що підкрутився, кірки щільно прилягає до верхнього шару злитка. Цей дефект спостерігається при всіх способах розливання, але більш характерний для злитків, отриманих

сифонної розливний металу з низькою температурою й швидкістю.

**Потьоки** представляють напливи металу зигзагоподібної форми, що приварилися до тіла злитка й розташовані по периметру на різній висоті. Нерідко вони спостерігаються на тих же злитках, на яких є завороти кірки, але вони розташовані вище останніх. Виникають внаслідок затікання рідкого металу межу изложницею і злитком при розриві дзеркала кірки вилівка в результаті підвищення швидкості розливання.

**Сітка розпалу** представляє невисокі виступи на поверхні злитка, розташовані у вигляді сітки, які можуть супроводжуватися більшою кількістю газових міхурів, включеннями теплоізолюючих матеріалів, іноді тріщинами поперечної орієнтації. Розташування сітки розпалу довільно по периметру й висоті злитка й залежить від розташування й розмірів дефектів изложниц, що є причиною появи сітки розпалу на злитку.

**Бугор** представляє опуклість на поверхні злитка, розташовану, як правило, на грані. Розміри ділянок з буграми бувають різні від декількох десятків до декількох сотень міліметрів по довжині й ширині. Висота бугрів може бути до декількох десятків міліметрів. Розташування й розміри бугрів на поверхні злитка відповідають місцям і розмірам раковин на внутрішній поверхні стінок изложниці.

Алюмінієвим вилівкам властиві ті ж дефекти, що й сталевим. Важковиявляємими дефектами є оксидні плівки, оскільки по щільності й акустичним властивостям вони близькі до алюмінію. У той же час алюміній має малу анізотропію, тому мало розсіювання ультразвуку й у три рази менше поглинання рентгенівського випромінювання. На рентгенограмі плівки видні як світлі смуги, тому що вони сильніше поглинають рентгенівське випромінювання, ніж алюміній.

**Дефекти обробки тиском і механообробки.** Дефекти прокатного походження є наслідком порушення або недосконалості технології прокатки, настроювання станів нагрівання металу перед прокаткою при виробництві блюмів, качаної заготовки, а також при їхній подальшій переробці в листову або сортову продукцію.

**Міхур-здуття** - дефект поверхні у вигляді локалізованого спучування металу з наступним його прокатуванням і, часто, з розривом по контуру.

**Розкатні плени** - дефект поверхні, що представляє собою відшарування металу язикоподібної або неправильної форми, з'єднане з основним металом однієї стороною, що з'явився наслідком розкатування дефекту сляба або слідів його грубого зачищення. Утворюється внаслідок розкатування або расковки рванин, підрізів, слідів глибокого зачищення дефектів або сильного виробітку валків.

**Розкатана тріщина** - дефект поверхні, що представляє собою розрив металу, що утворювався при розкатуванні тріщини у литій заготовці.

**Прикромкові закати** - дефект поверхні листів, що представляє собою несучільності, одиночні або численні, прямолінійні або звивисті, різної довжини й ступеня розкриття, орієнтовані в напрямку найбільшої витяжки металу при прокатці. Утворюються внаслідок заочування грубих слідів

зачищення й глибоких рисок.

**Відбитки** - дефекти поверхні у вигляді виступів або поглиблень, одиночних або періодично повторюваних по довжині листа. Утворюється в результаті прокатки або виправлення аркуша при дефекті валків або налипання на них сторонніх часток.

**Рябизна** - дефект поверхні у вигляді дрібних поглиблень від окалини, що випала, згрупованих у штабах різної довжини й ширини.

**Раковини від окалини** – дефект поверхні у вигляді окремих поглиблень, частково витягнутих уздовж напрямку прокатки, що утворюються при випаданні вкатанної окалини; дефект має шорсткувате дно, перехід від основного металу до кратера дефекту - плавний, границі - розмиті. Раковини від окалини відрізняються від рябизни більшими розмірами й меншою кількістю. Утворюється в результаті прокатки або виправлення листа при вдавненні окалини.

**Вкатанні металеві частки** - дефект поверхні листа у вигляді приварених загорнених часток металу. Металеві частки, вкатані в процесі гарячої прокатки ( тобто при підвищених температурах), не виступають над поверхнею листа, мають однаковий ступінь окисленості з основним металом, не супроводжуються ореолом. Утворюється в результаті прокатки або гарячого виправлення аркуша при вдавненні металевих часток.

**Раковина** - дефект поверхні у вигляді одиночного поглиблення, що утворювався при випаданні вкатанної сторонньої частки; може розташовуватися уздовж напрямку прокатки. Характерний для підвищених температур, дефект не супроводжується ні ореолом, ні утвором напливів металу по його контуру. Дно дефекту може бути гладким або рельєфним, залежно від стану поверхні, що вдавлюється частки. Утворюється при випаданні вкатанної при прокатці сторонньої частки.

**Вдав** - поглиблення різної форми й змінної глибини, одиничні або множинні, довільно розташовані на поверхні листа або труби. Глибокі дефекти супроводжуються виступом – напливом металу. В окремих випадках дефекти повторюють контур сторонніх часток, що послужили причиною їх утвору, і супроводжуються ореолом. Утворюється при випаданні вкатанної або втисненої в холодному стані сторонньої частки.

**Розшарування** – несучільності (розкатані або розплющені порожнечі литого металу), орієнтовані строго уздовж напрямку деформації, що й проявляються в зламі у вигляді тріщин. Розшарування утворюються внаслідок розкатування при деформації усадочних раковин, рихлостей, газових міхурів, неметалевих і металевих включень, що були в злитку. Дефект переважно розташовується в центральній частині заготовок, що мають знижену пластичність. Металургійні розшарування мають різну форму, розміри, але глибина їх залягання, як правило, однакова - у серединній частині товщини стінки труби.

При обробці тиском матеріал неодноразово піддають нагріванню й охолодженню, створені при цьому внутрішні напруження сприяють утворенню внутрішніх розривів і тріщин. При холодному об'ємному штампуванні через

малу пластичність вихідних матеріалів на поверхні деталей виникають **тріщини, що сколюються**, поширюються під кутом  $45^0$  до напрямку діючого зусилля.

У результаті влучення дрібних часток виникають ризики на поверхні прокату у вигляді відкритих подряпин глибиною 0,2-0,5 мм. При надлишку металу у валках виникають дефекти у вигляді завусенцев глибиною більш 1 мм, загорнених у протилежних напрямках. На крайках листів, профілів утворюються **рванини** – розриви або подриви металу різноманітних обрисів із рваними краями.

**Волосовини** є результатом деформації малих неметалічних включень і газових міхурів. Ці дефекти мають вигляд тонких прямих ліній розмірами від часток міліметрів до декількох сантиметрів. Волосовини зустрічаються у всіх видах конструкційних сталей.

**Флокени** з'являються найчастіше в середньовуглецевих і середньолегованих сталях при підвищеному вмісті в них водню, звичайно в центральній зоні кутих або катаних заготовок великих перетинів, мають вигляд тонких звивистих тріщин, що представляють у зламі плями з поверхнею характерного срібlistого кольору округлої форми. При кування та штампуванні металу, ураженого флокенами, іноді вони розтріскуються з відділенням шматка металу. З'єднання металу з воднем – гідрид викликає підвищену крихкість металу.

Найбільш частий дефект механічної обробки – **недотримання геометричних розмірів** деталі й вимог якості й поверхні. Такий дефект звичайно визначають механічними вимірювальними засобами й оптичними методами контролю. Дефекти типу несучільностей при механічній обробці виникають порівняно рідко; наприклад, при обробці різанням у металі, що має більші поверхневі напруги, можуть виникнути тріщини.

При шліфуванні відбувається різке нагрівання поверхні, у результаті може з'явитися **сітка дрібних тріщин і прижоги** (локальні пережартовані ділянки). Поверхневі тріщини виявляють капілярним, магнітним і ТВ контролем, прижоги - магнітним і термоелектричним методами.

**Дефекти термообробки.** Найпоширенішими дефектами термічної обробки є дефекти викликані недотриманням або недосконалістю режимів нагрівання або охолодження.

У процесі відпалу й нормалізації можуть виникнути наступні дефекти: окиснення, обезвуглецевування, перегрів та перепали металу.

При нагріванні в полум'яних печах поверхня сталевих деталей взаємодіє із грубними газами. У результаті метал окислюється й на деталях утворюється **окалина** – хімічна сполука металу з киснем. З підвищенням температури й збільшенням часу витримки окиснення різке зростає. Утвір окалини не тільки викликає вигар (втрату) металу на окалину, але й ушкоджує поверхню деталей. Поверхня стали під окалиною виходить роз'їденою й нерівною, що утрудняє обробку металу різальним інструментом.

**Обезвуглецевування**, тобто вигорання вуглецю з поверхні деталей, відбувається при окисненні стали. Обезвуглецевування різко знижує

характеристики міцності конструкційної сталі та може викликати утвор гартівних тріщин і жолоблення (повідцеві деталі).

При нагріванні стали вище певних температур і тривалих витримках у ній відбувається швидкий ріст зерен, ведучий до виникнення крупнокристаллической структури. Це явище називають *перегрівом*. Перегрів веде до зниження пластичних властивостей стали. У перегрітій сталі при загартуванні утворюються тріщини.

*Пережог* виходить у результаті тривалого перебування металу в печі при високій температурі, близької до температури плавлення. Фізична сутність його полягає в тому, що кисень із навколишньої атмосфери при високій температурі проникає в глиб металу, що нагрівається, і окиснить границі зерен. У результаті окиснення границь зерен механічний зв'язок між зернами слабшає, метал втрачає пластичність і стає тендітним, що при наступній обробці може привести до утвору тріщин.

У процесі нагрівання під загартування й при загартуванні можуть з'являтися наступні дефекти: тріщини, деформація й жолоблення, обезуглероживание, м'які плями.

*Гартівні тріщини* - це непоправний брак, що утворюється в процесі термічної обробки. Вони є наслідком виникнення більших внутрішніх напружень. Тріщини виникають при неправильному нагріванні (перегріві) і великій швидкості охолодження в деталях, конструкція яких має різкі переходи поверхонь, грубі ризики, що залишилися після механічної обробки, гострі кути, тонкі стінки й т буд. Гартівні тріщини, звичайно розташовані в кутах деталей або інструмента, мають дугоподібний або звивистий вид.

*Деформація й жолоблення* деталей відбуваються в результаті нерівномірних структурних і пов'язаних з ними об'ємних перетворень, що обумовлюють виникнення внутрішніх напружень у металі при нагріванні й охолодженні.

*М'які плями* - це ділянки на поверхні деталі або інструмента зі зниженою твердістю. Такі дефекти утворюються при загартуванні в процесі охолодження в гартівнім середовищі, коли на поверхні деталі була окалина, сліди забруднень і ділянки зі знеуглецьованою поверхнею.

Для виявлення дефектів термообробки найчастіше застосовують вихретоковий, магнітний і рідше ультразвуковий методи контролю.

### 2.3 Дефекти з'єднання матеріалів.

Дефект зварних з'єднань у вигляді локального розриву металу по границях зерен, що кристалізуються, або по самих кристалах металу називають *тріщиною*. ефект видний незброєним оком або через лупу невеликого збільшення ( до 20 крат) при візуальному контролі. Тріщини можуть виникати як в основному металі конструкції, так і в зоні звареного шва.

При зварюванні розрізняють гарячі й холодні тріщини. *Гарячі* - тендітне межкристалітне руйнування в процесі кристалізації звареного шва; *холодні* – тендітне межзеренне руйнування свежезагартованого зварного з'єднання під



дією залишкових зварювальних напружень, яке відбувається протягом 1-2 діб після закінчення зварювання.

Гарячі тріщини виникають внаслідок забруднення присадочного металу сіркою й фосфором, а також при грубих порушеннях технологічних режимів зварювання (зайві тепловкладення, швидка швидкість охолодження). Холодні тріщини виникають у середньо – та високолегованих сталях перлітного й мартенситного класів при значній концентрації дифузійного водню в зоні зварювання й наявності розтягувальних напруг. Холодні тріщини мають світлий блискучий злам без слідів високотемпературного окиснення, гарячі являють собою звивистий окиснений розрив металу. Розташовуватися тріщини можуть як на поверхні наплавленого металу, так і на поверхності основного металу в зоні термічного впливу з орієнтацією уздовж або поперек звареного шва.

Також тріщини можуть зустрічатися в кратері – поглибленні в центрі звареного шва, що виникає внаслідок усадки розплавленого металу при різкому обриві дуги при перериванні процесу зварювання.

**Пора** -дефект звареного шва у вигляді порожнини округлої форми, заповненої газом. Зовнішні ознаки дефекту відсутні, тому що він перебуває усередині звареного шва.

У зварювальній ванні утворюються пухирці водню, азоту, окиси вуглецю й ін. газів. Ці пухирці фіксуються в металі шва при його кристалізації.

Причини виникнення:

- поганий захист зварювальної ванни від впливу повітря;
- неправильний вибір режиму зварювання;
- зварювання з великою довжиною дуги;
- недостатня кількість органічних компонентів у складі електродного покриття;
- погана прокалка електродів;
- неякісне зачищення крайок, що зварюються, від іржі й забруднень.

**Свищ** - трубчаста порожнина в металі звареного шва через виділення газу. Форма й положення свища залежать від режиму затвердіння й виду газу. Звичайно свищі накопичуються й розподіляються «ялинкою».

Зовнішні ознаки відсутні, тому що дефект перебуває усередині звареного шва. Виявляють методом неруйнуючого контролю.

При зварюванні кутових швів у різних просторових положеннях, відмінних від нижнього, піднімальна сила не може видавити пору назовні.

Причини виникнення:

- несприятлива геометрія зварювальної ванни при зварюванні кутових, таврових і нахлесточних з'єднань;
- висока в'язкість металу зварювальної ванни при зварюванні в стельовому, вертикальному й горизонтальному положеннях;
- низька пластичність металу шва;
- утвор гартівних структур;

- внутрішні напруження від нерівномірного нагрівання.

**Поверхнева пора** -дефект, що порушує сплошность поверхні звареного шва видимий незброєним оком або через лупу невеликого збільшення (2 – 4-х) при візуальному контролі.

Через високу в'язкість шлаків на поверхні зварювальної ванни й високої швидкості затвердіння шлаків газовий пухирець (це можуть бути пухирці водню, азоту, водяної пари й окису вуглецю, основні збудники пор при зварюванні сталей – водень і азот) не може спливати (пройти через уже затверділу жужільну кірку) і кристалізується у вигляді порожнини на поверхні звареного шва.

Газова **пора**, що порушує сплошность поверхні звареного шва зображено на малюнку 2.23. Причини виникнення – підвищена в'язкість шлаків, розташованого на поверхні рідкої зварювальної ванни.

**Усадочна раковина** - порожнина, що утворюється внаслідок усадки металу під час затвердіння. Дефект видний незброєним оком або через лупу невеликого (2-4- х) збільшення при візуальному контролі.

Під дією дуги дзеркало зварювальної ванни деформується, здобуваючи ввігнутий вид. При раптовому обриві дуги воно не встигає спрямитися й затвердеває у формі западини, що можна розглянути на малюнку 6.

Причини виникнення:

- раптовий обрив зварювальної дуги;
- неякісна заварка кратера.

**Тверде включення** - тверді сторонні речовини металевого або неметалічного походження в металі звареного шва. Включення, що мають хоча б один гострий кут, називаються «гострокутними».

Зовнішні ознаки відсутні, тому що дефект перебуває усередині звареного шва.

Тугоплавкі частки сторонніх металів і інших включень (вольфрам, мідь, корунд, кварц і т.д.) фіксуються у зварювальній ванні при її кристалізації, показано на малюнку 2.25.

Причини виникнення

- ерозія вольфрамового електрода при аргонодуговою зварюванню;
- випадкове влучення тугоплавких часток ззовні в рідкий метал зварювальної ванни.

**Шлакове включення** - дефект у вигляді вкраплення шлаків у звареному шві розглянуто на малюнку 2.26. У різних умовах утвору включення бувають лінійні (1 на малюнку 2.26); роз'єднані (2 на малюнку 2.26); інші (3 на малюнку 2.26).

Зовнішні ознаки відсутні, тому що дефект перебуває усередині звареного шва.

Гранули флюсу, обмазка електродів, шихта порошкового дроту не встигнувши вступити в реакцію з розплавленим металом і спливати на поверхню рідкої зварювальної ванни, швидко кристалізуються в ній.

**Несплавка** - відсутність з'єднання між металом звареного шва й основним металом або між окремими валиками звареного шва. На малюнку 2.27 розрізняють несплавки: по бічній стороні (1 на малюнку 2.27), між валиками (2 на малюнку 2.27), у корені шва (3 на малюнку 2.27).

Зовнішні ознаки: відсутні, тому що дефект перебуває усередині звареного шва.

При дуговім зварюванні дуга не розплавляла частину крайки стику й не сформувала шов з її участю.

Причини виникнення:

- неправильна підготовка крайок під зварювання (форма й кут оброблення);
- погане зачищення крайок, що зварюються;
- погана підготовка поверхні валиків при багат шаровім зварюванні;
- хімічна неоднорідність металу;
- недостатня сила струму;
- завищена швидкість зварювання;
- низька кваліфікація зварника.

**Непровар** - дефект у вигляді несплавки у зваренім з'єднанні внаслідок неповного розплавлення крайок або поверхонь раніше виконаних валиків звареного шва

Буває в корені або в перетині шва, показано на малюнку 2.28.

Зовнішні ознаки відсутні, тому що дефект перебуває усередині звареного шва.

Зварювальна дуга не може розплавити нижню крайку оброблення й сформуванати шов з її участю. Розплавлений метал не проникає до кореня з'єднання.

Причини виникнення:

- погане зачищення<sup>44</sup> крайок, що зварюються;
- недостатня сила струму;
- завищена швидкість зварювання;
- низька кваліфікація зварника;
- незручне просторове положення шва.

**Підріз** - дефект у вигляді поглиблення по лінії сплавки звареного шва з основним металом. На малюнку 2.29 поздовжнє поглиблення на зовнішній поверхні валика звареного шва.

Рідкий метал зварювальної ванни витісняється в її центральну частину. Висока швидкість кристалізації й низька смачиваемість перешкоджають розтіканню металу в границях розплавлення.

Причини виникнення:

- зварювання при підвищеній напрузі на дузі;

- надмірна швидкість зварювання;
- неточне ведення електрода по осі стику;
- незручне просторове положення шва;
- недостатня смачиваемість металу шва.

**Наплив** - дефект у вигляді натекання металу шва на поверхню основного металу або раніше виконаного валика без сплавки з ним.

Надлишок наплавленого металу звареного шва, натекший на поверхню основного металу, але не сплавлений з ним, показано на малюнку 2.30. Зовнішні ознаки: надлишок металу шва по його краю. Дефект видний неозброєним оком при візуальному контролі.

При формуванні шва надлишок металу зварювальної ванни натікає на холодні крайки основного металу, не утворюючи з ним з'єднання.

Причини виникнення:

- помилки в техніку зварювання;
- порушення параметрів режиму зварювання;
- неправильний вибір зварювальних матеріалів;
- незручність формування шва, викликане наявністю конструкцій, що заважають;
- великий зварювальний струм;
- зайва довжина дуги.

**Пропалив** - дефект у вигляді витікання металу зварювальної ванни, у результаті чого утворюється наскрізний отвір у звареному шві, показано на малюнку 2.31.

Зовнішні ознаки: наскрізні отвори або порожнини, утворені внаслідок розплаву зварювальної ванни.

У зварювальній ванні утворюється надмірний обсяг рідкого металу. Він не втримується силами поверхневого натягу й мимовільно випливає зі шва.

Причини виникнення:

- хімічна неоднорідність металу, що зварюється;
- завищена сила струму при недостатній швидкості зварювання;
- неякісне складання стику під зварювання (під, що зварюється шов погано підгорнута флюсова подушка або мідна підбивка), надмірні зазори;
- низька кваліфікація зварника.

Зварені з'єднання перевіряють ультразвуковими й рентгенівськими методами контролю.

Основним дефектом пайки є **непропай**. Він звичайно виникає при недостатньо ретельнім зачищенні припаєвуваних поверхонь або через порушення температурного режиму.

Дефекти клейового з'єднання – **непроклеї**, що виникають у результаті неякісного очищення поверхонь, що склеюються, або порушення режиму склейки. Дефекти клепаного з'єднання – тріщини в заклепках деталях, що й з'єднуються, – виявляються ультразвуковими методами.

Паяні, клейові, клепані вироби контролюють ультразвуковими методами; герметичні зварені, паяні й клейові з'єднання перевіряють методом

течеискания.

**Експлуатаційні дефекти.** До цього виду дефектів відносять механічні ушкодження, зношування, корозію. Найпоширенішими дефектами цього типу є *усталостные тріщини* (мал.2.32).

Основна причина усталостных руйнувань деталей – дія високих змінних напруг. Тріщини втоми виникають, як правило, при конструктивній недоробці деталей і вузлів: по жолобниках, у місцях з різкими переходами перетинів і наявністю підрізів, у підстави різьблення й зубів шестірень, у кутах шпонкових канавок, в отворів для змащення або в місцях інших конструктивних або технологічних концентра- торах напруг. Тріщини втоми з'являються також у місцях дефектів металургійного або технологічного походження або слідів грубої механічної обробки поверхні (глибоких рисок, слідів різців і т.п.).

Тріщини втоми різняться по зовнішньому вигляду. Поперечні або кільцеві тріщини розвиваються на циліндричних деталях по окружності в перетині, перпендикулярному до осі деталі. Часто зустрічаються також тріщини, розташовані під кутом до осі деталі. У зоні усталостного руйнування відсутні які- або ознаки пластичної деформації навіть у самих пластич- ных матеріалів. Ширина розкриття усталостных тріщин у виходу їх на поверхню в початковій стадії руйнування не перевищує декількох мікронів.

**Корозійні поразки** зустрічаються на різних деталях. Ступінь корозійної поразки залежить від наявності агресивних середовищ, якості захисних покриттів, несприятливої комбінації матеріалів у вузлі й ін. В експлуатації корозією часто уражені внутрішні порожнини, важкодоступні для контролю.

При різких змінах температур, а також недостатньому змащенню тертьових деталей можлива поява термічних тріщин. Ці тріщини часто спостерігаються на поверхні азотированных, цементованих або поверхово загартованих деталей, що працюють при високих питомих тисках.

Тріщини й надриви в поверхневому шарі виникають у результаті одноразово прикладених напруг (розтягання, вигин, крутіння), коли навантаження перевищує міцність деталі, наприклад, при монтажі або демонтажі деталей з тендітними поверхнями або при перевантаженні деталі (робота в нерозрахованому режимі).

Механічні ушкодження поверхні – забоїни, вм'ятини, надири, ризики, місцевий наклеп – можуть виникати по самих різних причинах.

Експлуатаційні дефекти виникають у процесі експлуатації трубопроводів. До них ставляться корозійні ушкодження на внутрішній і зовнішньої поверхнях трубопроводу, щільні відкладання. Для трубопроводів, що транспортують сероводородсодержащие середовища, крім виразкової корозії, характерні водневі розшарування й сірководневе розтріскування металу.

**Водневі розшарування** (малюнок 2.33) виникають при тривалій експлуатації трубопроводів в області металургійних дефектів металу труб, причому цей процес протікає інтенсивніше на ділянках трубопроводів із застійними зонами або в металі трубопроводів, що перебувають у консервації. Основні водневі розшарування виникають в області ликвационных зон і складаються з декількох макророзшарувань, що з'єдналися між собою, що є

результатом об'єднання межкристалітних мікророзшарувань.

**Грунтова корозія.** Підземні трубопроводи можуть корродировать і під впливом роботи мікрогальванічних пар, що з'являються по всій довжині трубопроводу внаслідок його неоднакового состава або різної аерації ґрунту на сусідніх ділянках. Грунтова корозія металу труб у місцях їх контакту з найбільше корозійно-активним верхнім шаром може привести до утвору корозійних ушкоджень значної глибини (малюнок 2.34).

**Виразкова корозія** характеризується появою на поверхні конструкції окремих або множинних ушкоджень, глибина й поперечні розміри яких ( від часток міліметра до декількох міліметрів) порівнянні (малюнок 2.35,а). Виразкова корозія звичайно супроводжується, утвором товстих шарів продуктів корозії, що покривають усю поверхню металу або значні її ділянки навколо окремих великих виразок (характерно для корозії незахищених сталевих конструкцій у ґрунтах).

Виразкова корозія труб згодом переходить у наскрізну (малюнок 2.35,а).

Виразки є гострими концентраторами напруг і можуть виявитися ініціаторами зародження усталостних тріщин і тендітних руйнувань. Для оцінки швидкості виразкової корозії й прогнозування її розвитку в наступний період визначають середні швидкості проникнення корозії в найбільш глибоких виразках і кількість виразок на одиницю поверхні. Ці дані надалі використовують при розрахунках залишкового строку експлуатації встаткування й трубопроводів.

**Корозійне розтріскування** – вид квазіхрупкого руйнування металів і сплавів при одночасному впливі статичних напруг розтягання й агресивних середовищ; характеризується утвором одиничних і множинних тріщин, пов'язаних з концентрацією основних робітників і внутрішніх напружень. Тріщини можуть поширюватися між кристалами або по тілу зерен, але з більшою швидкістю в площині, нормальній до діючих напруг, чому в площині поверхні.

КРН магістральних газопроводів – руйнування металу труб у результаті тривалого й одночасного впливу на їхню зовнішню поверхню механічних напруг, що досягли граничного значення, і ґрунтового електроліту. Необхідною умовою розвитку стрес- корозійних тріщин є доставка корозійно- активного середовища у вершину тріщини, що розвивається, при збереженні високого рівня напруг. Корозійне розтріскування під напругою проявлялося на трубах магістральних газопроводів в основному діаметрами 1020, 1220 і 1420 мм із плівковим антикорозійним покриттям холодного нанесення. Переважно в нижній половині перетину труби ( під ізоляцією, що відшарувався) утворювалися колонії однаково спрямованих (у більшості випадків паралельно осі труби) поверхневих тріщин різних розмірів (малюнок 2.36).

Для труб магістральних газопроводів стрес-корозія, очевидно, пов'язана з вихідним станом труб – рівнем і характером розподілу залишкових напруг технологічного або конструктивного походження й неоднорідністю поверхні металу, наприклад, з наявністю поверхневих строчечних неметалічних

включень розміром більш третього номера. Характерною ознакою КРН є множинний характер зародження тріщин, що утворюють стрес-корозійний дефект («поле або колонія тріщин»), і їхня краща орієнтація щодо розтягувальних напруг.

**Усталостные тріщини.** При напруженні зародження тріщин у металі труб пов'язане з виникненням більших розтягувальних напруг у результаті скупчення дислокацій, що утворюються в перешкод або розташованих уздовж смуг ковзання, коагуляції вакансій, виникнення екструзій (видавлювання тонких пелюсток металу) і інтрузій (провали на поверхні металу). Період поширення усталостної тріщини включає чотири етапи: кристалографічного росту I, стабільного росту II, нестабільного росту III і статичного долома (остаточного руйнування) IV. Усталостні ушкодження найбільше помітно протікають у зонах концентрації напруг.

Для дефектоскопії використовуються візуально-оптичні, капілярні, магнітні методи. Для виявлення внутрішніх тріщин будь-якого походження використовують ультразвукові методи контролю.

### 2.3 Дефекти в неметалічних деталях

Дефекти скла – порушення фізичної однорідності й сплошности скла – можуть бути структурними, технологічними, експлуатаційними. Це можуть бути розриви, субмікротрещини й мікротріщини, технологічні міхури розмірами від 0,8 до 3 мм, газові включення до 0,8 мм, сторонні включення, нерівності поверхні. У процесі експлуатації можливі фізико-механічні ушкодження, корозія, помутніння, точечні каверни, мікротріщини, подряпини, відколи.

Дефекти кераміки виникають внаслідок порушення технології виготовлення виробів з керамічної маси. Розрізняють дефекти, пов'язані з викривленням розмірів і форми виробу (жолоблення, деформації); зі зміною структури матеріалу (тріщини, прищі, посечки й свищі); дефекти поверхні (міхури, мушки, виплавки, вскипы, наколы, металевий блиск). Тріщини виникають через недостатню обробку керамічної маси, неоднакової щільності різних місць підлоги-фабрикату, різкої зміни температури під час найбільшої усадки або в процесі охолодження, неправильного укладання виробів і т.п.

Дефекти кераміки, отриманої методом спікання й гарячого пресування – пористість, корозійне розтріскування, поверхневі й приповерхні тріщини. Можливе порушення зв'язків між кристаллитами, сторонні включення, аномалії в розмірах кристалів, оксидні фази, наявність зон аномальних механічних деформацій і напруг у зв'язках між кристаллитами, зон, вільних від твердих фаз (пор), а також зон граничних механічних напруг, що переходять у розрив зв'язків композиційної структури (тріщини); аномалії в розмірах зазначених зон і нерівномірність розподілу структурних елементів.

Істотним дефектом у структурі кераміки є існування більших аномальних зон з мінімальною енергією зв'язку. Виникнення дефектів у полімерних композиційних матеріалах багато в чому визначається в'язкістю сполучного,

ступенем просочення армирующего матеріалу, температурою техно-логічного встаткування, температурою вхідного армирующего матеріалу, швидкістю протягання арматури, її напругою, тиском обтиснення армирующего матеріалу, сушінням армую- щого матеріалу, липкістю, змістом летучих і розчинних речовин, щільністю напівфабрикату, скупченням сполучного армирующего наповнювача й способом його укладання.

Характерними дефектами для методів відкритого формування є пористість, розшарування, ділянки неповного отвердіння, зміна товщини, низьке значення фізико-хутра- нических властивостей, нерівномірний розподіл сполучного наповнювача, складки. Для закритого формування характерними дефектами є тріщини, розшарування, локальна пористість, нерівномірний розподіл сполучного наповнювача й ділянки його локальної орієнтації, порушення орієнтації наповнювача, внутрішні залишкові напруги, обриви ниток і волокон.

Дефектами напівпровідникових матеріалів є зміна параметрів зонної структури й основних параметрів примесних центрів, порушення кристалічної структури, зміна чистоти матеріалу, наявність електрически активних і неактивних домішок, неоднорідність розподілу домішок

за обсягом матеріалу й пристрою, механічні напруги, зміна параметрів перехідних областей в р - n гомо- і гетеропереходах.

До дефектів виробів з будь-яких матеріалів ставляться відхилення розмірів і геометричних форм основних і вільних поверхонь (непрямолінійність, непаралельність, неспіввісність, неперпендикулярність, ексцентричність, шорсткість), зміна товщини покриття, вологість.