

РУЙНУЮЧИЙ ТА УШКОДЖУЮЧИЙ КОНТРОЛЬ

Руйнуючий контроль - Це сукупність методів вимірювання та контролю показників якості виробу, після завершення якого порушується придатність об'єкта контролю для використання за призначенням.

Руйнівний контроль застосовується для вибіркового випробування окремих зразків виробів і за результатами статистичними методами робиться висновок про якість партії всієї продукції, до якої належать випробувані зразки. Даний метод дозволяє безпосередньо визначити контрольовані параметри або характеристики (наприклад, межу міцності або товщину покриття), але не дає повної впевненості у задовільній якості всієї партії. Принциповий недолік його полягає у вибірковості, тому що руйнуються одні вироби, а експлуатуються інші. Достовірність руйнівних методів контролю залежить від однорідності властивостей у зразках, взятих для випробування, і реальних об'єктах, і навіть від подібності умов випробування та експлуатації.

До методів руйнівного контролю зазвичай відносять передпускові або періодичні гідравлічні випробування апаратів, а також механічні випробування зразків металу, вирізаних їх елементів, твердометрію, металографію. Руйнівний контроль прямо протилежний методам неруйнівного контролю, суть яких полягає в контролі надійності основних робочих властивостей і параметрів об'єкта або окремих його елементів/вузлів без виведення об'єкта з роботи або його демонтажу. При оцінці технічного стану апаратів, що довго пропрацювали, неруйнівні методи контролю забезпечують отримання найбільш істотної інформації для прогнозування ресурсу їх безпечної експлуатації. Вони припускають застосування фізичних методів контролю якості, які впливають працездатність конструкції апарату.

Загальні відомості про методи руйнівного та ушкоджуючого контролю

Механічні випробування є одним із основних МР та УК. До механічних випробувань відносять:

- випробування на статичне (короткочасне) розтягування;
- статичний вигин;
- ударний вигин (на надрізаних зразках);
- на стійкість проти механічного старіння;
- Вимірювання твердості металу
- металографія

Статичні випробування на розтягування

У процесі випробування на розтягування зразок деформується, а потім руйнується.

Дане випробування дозволяє отримати такі характеристики:

- межа пропорційності (умовна) $\sigma_{пц}$;
- межа пружності (умовна) $\sigma_{0.01}$;
- межа плинності (фізична) σ_T ;
- межа плинності (умовна) $\sigma_{0.2}$;
- межа міцності (тимчасовий опір) σ_B ;
- відносне подовження після розриву δ , %;
- відносне звуження після розриву ψ , %.

Дослідний зразок затискається у зажимах розривної машини та починається поступово навантажуватись, при цьому фіксується значення подовження під дією прикладених навантажень. На початковому етапі навантаження у зразку присутній одновісний напружений стан. Далі починається ділянка місцевої текучості. На зразку з'являється місцеве потоншення (шийка) На початковій ділянці діаграми між силою F та подовженням Δl дотримується пряма пропорційна залежність – зразок підпорядковується закону Гука. Закон Гука говорить про пряму пропорційну залежність між напругою σ і деформацією ε : $\sigma = \varepsilon E$. Коефіцієнт пропорційності E називається модулем пружності першого роду.

Далі закон Гука порушується: залежність між силою та подовженням стає нелінійною. На діаграмі є горизонтальна ділянка, яка називається майданчиком плинності. У цій стадії випробування зразок подовжується (деформується) практично за постійної сили. Це називається плинністю, зразок деформується рівномірно й у всій довжині робочої частини. Після майданчику текучості починається ділянка зміцнення. У кінцевій точці цієї ділянки досягається максимальна сила, яку може витримати зразок.

На кінцевій ділянці (після виникнення шийки) відбувається локалізація деформацій у шийці, решта зразка практично не деформується. Деформація в шийці неоднорідна, має значний градієнт вздовж осі зразка. Напружений стан також стає неоднорідним, крім того, вони зміняться якісно – стає тривісним. У середині шийки напружений стан – тривісне розтягування.

Діаметр шийки зменшується в міру деформування зразка, і зразок розривається за найменшим перерізом шийки.

Межею пропорційності називається найбільша напруга, до якого справедливий закон Гука. Для визначення межі пропорційності вводиться поняття умовної межі пропорційності. Умовною межею пропорційності називається напруга $\sigma_{пц}$, при якій тангенс кута нахилу дотичної до діаграми розтягування в 1,5 рази більший за тангенс кута нахилу лінійної ділянки цієї діаграми.

Межу пропорційності оцінюють як напругу, при якому відступ від прямої пропорційної залежності між напругою та деформацією досягає певної величини. При певному перевищенні межі пропорційності деформації продовжують залишатися пружними, тобто. повністю зникає, якщо напруга знизити до нуля.

Найбільша напруга, до якої всі деформації у матеріалі пружні, називається межею пружності.

Межею плинності σ_T , називається напруга, при якій в матеріалі починають інтенсивно накопичуватися залишкові (пластичні) деформації, причому цей процес відбувається при практично постійному напрузі.

Фізичну межу плинності оцінюють при розтягуванні як частне від розподілу навантаження (відповідає майданчику плинності або явно вираженій зупинці стрілки шкали сило вимірювального пристрою випробувальної машини) до початкової площі поперечного перерізу зразка.

За відсутності майданчика плинності визначають умовну межу плинності. Умовною межею плинності $\sigma_{0,2}$ називається напруга, при якій залишкова (пластична) деформація становить 0,2%.

Тимчасовий опір розриву при розтягуванні оцінюють як частне від розподілу найбільшого навантаження, віднесеного умовно до початкової площі поперечного перерізу зразка.

Відносне подовження після розриву оцінюють як відношення збільшення довжини зразка (після розриву) до його початкової довжини, виражене у відсотках.

Відносне звуження після розриву (φ) оцінюють як відношення зменшення площі поперечного перерізу зразка у місці розриву до початкової площі поперечного перерізу зразка, виражене у відсотках.

Визначення характеристик механічних властивостей (σ_t , σ_b , d , φ) проводять для наплавленого металу, металу шва та різних ділянок навколошовної зони.

При випробуванні зварного з'єднання на статичне розтягнення визначають лише тимчасовий опір найбільш слабкої ділянки.

Випробування на вигин

Випробування полягає у згинанні зразка навколо оправки під дією статичного зусилля і служать для визначення здатності металу витримувати задану пластичну деформацію, що характеризується кутом вигину, або для оцінки граничної пластичності металу, що характеризується кутом вигину до появи першої тріщини. Випробування на вигин проводять на універсальних випробувальних машинах чи пресах.

Випробування на статичний згин може проводитися:

- до певного кута;
- до паралельності сторін;
- впритул до контакту сторін.

Руйнівні випробування на вигин мають одну послідовність:

- елемент фіксується на опорах прес-машини;
- зверху на нього встановлюється оправлення (металева болванка високої міцності);
- прикладається зусилля.

Процес триває до тих пір, поки на випробуваному зразку не з'являються сколки та тріщини. Вимірюється кут викривлення зразка. Випробування дає можливість, з високою точністю, визначити міцність та пластичність металевго елемента.

Якщо після завершення дослідження зразок прийняв кут викривлення більше мінімального, можна вважати, що він пройшов випробування, витримавши прикладене навантаження. На підставі цього дається дозвіл, застосування елемента в будівельних конструкціях, під впливом подібного зусилля.

Обов'язковою умовою проведення випробувань на статичний вигин є плавність наростання навантаження на зразок. Випробування проводять зі швидкістю деформації трохи більше 15 мм/хв.

Випробування на статичний вигин до паралельності сторін проводять після попереднього вигину зразка на кут не менше 150°. Догін продовжують між паралельними площинами до дотику сторін зразка з прокладкою товщиною, що дорівнює товщині (діаметру) оправки.

Випробування на ударний вигин

Метод заснований на руйнуванні зразка із концентратором посередині одним ударом маятникового копра. Кінці зразка розташовують на опорах. В результаті випробування визначають повну роботу, витрачену при ударі (роботу удару) або ударну в'язкість.

Під ударною в'язкістю слід розуміти роботу удару, віднесену до початкової площі поперечного перерізу зразка дома концентратора.

Сталевий зразок має форму стрижня квадратного перерізу 10×10 мм та довжину 55 мм. За методом Шарлі зразок лежить на опорах вільно і має надріз глибиною 2 мм на стороні, що протилежна удару маятника. Надріз дозволяє зосередити енергію удару одному місці.

Ударна в'язкість – механічна характеристика, що оцінює роботу руйнування зразка надрізаного при ударному вигині на маятниковому копрі. У міжнародній системі одиниць (СІ) ударна в'язкість виражається ставленням роботи U витраченої на руйнування зразка до площі поперечного перерізу A в місці надрізу. Одиниця виміру ударної в'язкості – Дж/м².

Проводить випробування на ударний вигин на маятникових копрах з метою оцінки схильності металу до крихкого руйнування, порівняння особливостей поломки матеріалу від втоми та статичного навантаження, визначення критеріїв конструкційної міцності деталей.

Робота удару (K) визначається за шкалою маятникового копра. Ударна в'язкість (KC) оцінюється як окреме від розподілу роботи удару до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці концентратора.

По температурній залежності ударної в'язкості оцінюють схильність матеріалу до тендітного руйнування. Температурою випробування на ударний вигин вважається температура зразка у момент удару.

Ударна в'язкість позначається поєднанням літер та цифр. Вигляд надрізу в зразку визначає літерне позначення параметра ударної в'язкості. Наприклад, КСУ-40 300/2/1 – ударна в'язкість, визначена на зразку з концентратором виду U при температурі мінус 40°C. Максимальна енергія маятника 300 Дж, глибина концентратора 2 мм, ширина зразка 10 мм.

Контроль на розрив

Такий процес дозволяє визначати максимальні зусилля, які може витримати випробуваний зразок. На підставі цієї інформації надається дозвіл

на використання металевої деталі в будівельних конструкціях, механічних пристроях тощо.

Щоб провести випробування на розрив, необхідно мати потужну розривну машину.

Алгоритм досвіду наступний:

1. Випробуваний зразок закріплюється.
2. Розривна машина починає рух із постійною швидкістю (вона не змінюється до кінця експерименту).
3. Після критичного навантаження на металевому елементі утворюється витягнута «шийка» (зменшений поперечний переріз). Значення датчика навантаження фіксуються.

Крім визначення критичної міцності цілісних зразків, що руйнує випробування зварних з'єднань на розрив має важливе значення. Воно дозволяє дізнатися чи відповідає технологія зварювання максимальним значенням певних НТД для даної сталі.

Твердометрія

Однією з найпоширеніших характеристик, що визначають якість металів і сплавів, можливість їх застосування у різних конструкціях та за різних умов роботи, є твердість. Випробування на твердість виробляються частіше ніж визначення інших механічних характеристик металів: міцності, відносного подовження та ін.

Твердістю матеріалу називають здатність чинити опір механічному проникненню його поверхневий шар іншого твердого тіла.

Для визначення твердості поверхню матеріалу з певною силою вдавлюється тіло (індентор), виконане у вигляді сталевий кульки, алмазного конуса, піраміди або голки. За розмірами одержуваного на поверхні відбитка судять про твердість матеріалу. Таким чином, під твердістю розуміють опір матеріалу місцевої пластичної деформації, що виникає при впровадженні

твердішого тіла – індентора. Залежно від способу вимірювання твердості матеріалу кількісно її характеризують числами твердості.

Існує кілька способів вимірювання твердості, що відрізняються характером впливу наконечника. Твердість можна вимірювати вдавлюванням індентора (спосіб вдавлювання), ударом або по відскоку наконечника - кульки.

Найбільше застосування одержало вимір твердості вдавлюванням в метал індентора у вигляді кульки, конуса і піраміди (відповідно методи Брінелля, Роквелла і Віккерса.

Твердість за методом Брінелля вимірюють вдавлюванням в зразок сталевий кульки певного діаметра D під дією заданого навантаження P протягом певного часу. В результаті вдавлювання кульки на поверхні зразка виходить відбиток (лунка). Число твердості Брінеллю, що позначається HV являє собою відношення навантаження P до площі поверхні сферичного відбитка F і вимірюється в $\text{кгс}/\text{мм}^2$ або МПа . Діаметр кульки та навантаження вибираються відповідно до товщини та твердості зразка.

При вимірі твердості за методом Брінелля необхідно виконувати такі умови:

- зразки з твердістю вище за $HV 450/650 \text{ кгс}/\text{мм}^2$ випробовувати забороняється;
- поверхня зразка повинна бути плоскою та очищеною від окалини та інших сторонніх речовин;
- діаметри відбитків повинні бути в межах $0,2D < d < 0,6D$;
- зразки повинні мати товщину не менше 10-кратної глибини відбитка (або менше діаметра кульки);
- відстань між центрами сусідніх відбитків та між центром відбитка та краєм зразка повинні бути не менше $4d$;
- тривалість витримки під навантаженням повинна бути від 10 до 15 с для чорних металів, для кольорових металів та сплавів – від 10 до 180 с, залежно від матеріалу та його твердості.

Твердість по Роквеллу - твердість, яка визначається різницею між умовною максимальною глибиною проникнення індентора і залишковою глибиною його впровадження під дією основного навантаження F_1 , після зняття цього навантаження, але при збереженні попереднього навантаження F_0 . При цьому методом індентором є алмазний конус або сталева загартована кулька. На відміну від вимірювань методом Брінелля твердість визначають за глибиною відбитка, а чи не з його площі. Глибина відбитка вимірюється у процесі вдавлення, що значно спрощує випробування. Навантаження додається послідовно у дві стадії: спочатку попереднє, зазвичай дорівнює 10 кгс (для усунення впливу пружної деформації та різного ступеня шорсткості), а потім основне.

Після застосування попереднього навантаження індикатор, який вимірює глибину відбитка, встановлюється на нуль. Коли відбиток отриманий додатком остаточного навантаження, основне навантаження знімають та вимірюють залишкову глибину проникнення наконечника h .

Твердомір Роквелла вимірює різницю між глибиною відбитків, отриманих від вдавлення наконечника під дією основного та попереднього навантажень. Кожен тиск (одиниця шкали) індикатора відповідає глибині 2 мкм вдавлення. Однак умовна кількість твердості за Роквеллом (HR) є не зазначеною глибиною вдавлення h , а величину $100 - h$ за чорною шкалою при вимірюванні конусом і величину $130 - h$ за червоною шкалою при вимірюванні кулькою. Числа твердості за Роквеллом не мають розмірності і того фізичного сенсу, який мають числа твердості за Брінеллем, проте можна знайти співвідношення між ними за допомогою спеціальних таблиць.

При вимірі твердості методом Роквелла необхідно, щоб на поверхні зразка не було окалини, тріщин, вибоїн та ін. Відстань відбитка повинна бути не менше 1,5 мм при вдавленні конуса і не менше 4 мм при вдавленні кульки. Товщина зразка повинна не менше ніж у 10 разів перевищувати глибину застосування наконечника після зняття основного навантаження.

Твердість слід вимірювати не менше 3 разів на одному зразку, усереднюючи отримані результати.

Перевага методу Роквелла в порівнянні з методом Брінелля:

- можливість проводити випробування високої твердості шляхом відліку за шкалою індикатора без обчислення чи користування спеціальними таблицями;
- мала ушкоджуваність поверхні внаслідок його застосування;
- висока продуктивність виміру.

При випробуванні на твердість за методом Віккерса в поверхню матеріалу вдавлюється алмазна чотиригранна піраміда з кутом при вершині 136. Після зняття навантаження вдавлювання вимірюється діагональ відбитка d .

Число твердості за Віккерсом HV підраховується як відношення навантаження P до виміряного значення діагоналі відбитка M . Кількість твердості за Віккерсом позначається символом HV із зазначенням навантаження P і часу витримки під навантаженням, причому розмірність числа твердості (кгс/мм²) не ставиться.

Тривалість витримки індентора під навантаженням приймають сталей 10 – 15 з, а кольорових металів – 30 з. Наприклад, 450 HV10/15 означає, що кількість твердості за Віккерсом 450 отримано при $P = 10$ кгс (98,1 Н), прикладеної до алмазної піраміди протягом 15 с.

При вимірюванні твердості за Віккерсом повинні бути дотримані такі умови:

- плавне зростання навантаження до необхідного значення;
- забезпечення перпендикулярності докладання діючого зусилля до випробуваної поверхні;
- поверхня випробуваного зразка повинна мати шорсткість трохи більше 0,16 мкм;
- підтримка сталості прикладеного навантаження протягом встановленого часу;

- відстань між центром відбитка та краєм зразка або сусіднього відбитка має бути не менше 2,5 довжини діагоналі відбитка;
- мінімальна товщина зразка повинна бути для сталевих виробів більшою за діагональ відбитка в 1,2 рази; для виробів із кольорових металів – у 1,5 рази.

Перевага методу Віккерса в порівнянні з методом Брінелля полягає в тому, що методом Віккерса можна випробовувати матеріали вищої твердості через застосування алмазної піраміди.

У багатьох випадках застосування класичних твердомірів для виміру може стати проблематичним. По-перше, коли контрольований виріб є великогабаритним та його не можна піднести до приладу. Крім цього, вирізка фрагмента виробу для подальшого вимірювання твердості призводить до псування виробу. По-друге – коли потрібна досить висока продуктивність контролю.

Щоб уникнути тих недоліків, які притаманні класичним методам твердометрії, було розроблено твердоміри, що використовують акустичний та динамічний методи.

Акустичний метод ґрунтується на вимірі відносних змін механічного імпедансу коливальної системи перетворювача залежно від механічних властивостей поверхні зразка. Акустичний перетворювач є стрижнем з магніострикційного матеріалу (наприклад, нікелю), на кінці якого укріплений індентор у вигляді алмазної призми. До стрижня прикріплений п'єзоелемент, що збуджує в перетворювачі поздовжні пружні коливання частотою 30-40 кГц. Стрижень з індентором притискають до об'єкта, що контролюється, з постійною силою. При цьому індентор впроваджується у поверхню виробу тим глибше, чим менша твердість його матеріалу. Площа зони дотику індентора з виробом із зменшенням твердості зростає, а модуль пружного опору зростає.

Зміна імпедансу визначають зміни власної частоти навантаженого перетворювача, яку вимірюють частотоміром. Шкалу індикатора градуують в одиницях твердості за Роквеллом.

Принцип роботи динамічних твердомірів заснований на вимірюванні відношення швидкостей індентора при падінні та відскоку його від контрольованого виробу. Відношення швидкостей переміщення індентора при відскоку та падінні характеризують твердість контрольованого виробу. Перетворювач включає механічну систему, що забезпечує переміщення індентора щодо поверхні контрольованого матеріалу, і електричну котушку. У зведеному положенні перетворювача цанга механізму спуску утримує індентор. При натисканні кнопки спуску цанга розтискається і індентор під дією попередньо стиснутої пружини.

Мікроструктурний метод

Припускає дослідження мікроструктури металу – будови металу, видиму під мікроскопом. Аналіз проводять на шліфах з відполірованою та відшліфованою до блиску поверхнею, протруєною спеціальними розчинами. Металографічні дослідження важливі в таких галузях, як металургія, атомна та аерокосмічна промисловість, енергетика та автомобілебудування. Під час металографічних досліджень визначають кількість неметалевих включень, бал зерна, глибину обезуглероженного шару, вміст феритної фази та інші параметри.

Дослідження проводиться із застосуванням оптичного мікроскопа при збільшеннях від 50 до 2000 разів. Мікроструктурним методом встановлюються:

- якість обробки шліфу;
- наявність газових пор та окисних плівок;
- наявність мікротріщин;
- ступінь забруднення металу зварного шва неметалевими включеннями.

Неметалічні включення можуть бути різної форми та виявляються на білому тлі шліфу темними плямами. Мікротріщини виглядають тонкими звивистими кривими. Газові пори – чорними плямами.

Випробування на корозійну стійкість

Випробування на корозійну стійкість - вид руйнівних випробувань, при якому проводиться оцінка швидкості та типу корозії, а також встановлюється склад та властивості продуктів корозії, ефективність захисних покриттів. Подібні випробування проводяться в таких галузях, як суднобудування, нафтогазова промисловість, машинобудування та будівництво. Серед різних методів випробувань користуються популярністю т.зв. прискорені корозійні випробування, у яких створюються умови, що спричиняють швидке корозійне руйнування внаслідок збільшення агресивності середовища.

Технологічні випробування – вид руйнівних випробувань з метою оцінки можливості матеріалу приймати певну деформацію за умов, максимально наближених до виробничим. До технологічних випробувань відносять випробування на сплющування, загин, роздачу, бортування та осадку. Оцінка матеріалу за результатами технологічних випробувань має якісний характер. Вона необхідна визначення придатності матеріалу виготовлення виробів за технологією, що передбачає значну і складну пластичну деформацію.