

Втома металу як виявити і запобігти

Якби ви знали, як був стривожений весь технічний світ, коли в середині XIX століття почали з'являтися випадки раптового руйнування осей поштових карет, шийок вагонних осей і інших механізмів, зроблених з цілком з надійного і якісного металу.



Так, 1842 року неподалік від Версаля, пасажирський потяг, переповнений французами, які поверталися з палацового свята, зійшов з рейок і загорівся через те, що в локомотиві зламалася вісь. Саме тоді французи перестали замикати залізничні вагони, а вчені почали всебічно досліджувати причину цього руйнування. Інженери, металурги, матеріалознавці лише мали зрозуміти і сформулювати, що таке втома металів і сплавів і від чого вона залежить.

Випробування на втому металу

Поступово помітили, що руйнування відбуваються у випадках, коли металевий виріб піддається або численним повторним навантаженням (в поєднанні з розвантаженням), або навантаженням в протилежних напрямках. Наприклад, почергові стиснення і розтягування, повторні вигини в різні боки і таке інше. Для з'ясування причин цих тривожних явищ вирішили вивчити питання придатності заліза як матеріалу для

[будівництва мостів](#)

Поломки, за якими спостерігали, можна було пояснити двома причинами. Або міцність металу має властивість знижуватися незалежно від умов його експлуатації (це стало б справжньою катастрофою для промислового виробництва, що активно розвивається!), або руйнування викликається багаторазовою зміною напруг. Щоб вирішити, яке з припущень було правильне, дослідники провели наступний експеримент. Кілька чавунних стрижнів навантажили до напружень, що не викликають руйнування, але є дуже близькими до таких (нагадаємо, що чавун - досить крихкий матеріал, який руйнується без залишкової деформації). У навантаженому стані стрижні залишили на чотири роки.

По закінченні цього терміну виявилось, що зразки не зруйновані. Отже, перше припущення дослідників було помилкове. Потім було проведено досліді зі зломом чавунних балок під дією падаючого на них вантажу. При кожному ударі вимірювався отриманий балкою прогин. З'ясувалося, що при прогині, що дорівнює половині того прогину, який дає злам балки від одноразового удару, зразок ламався після 4 тис. ударів.

А ось при прогині, що дорівнює одній третині прогину зламу, балка витримувала значно більше, ніж 4 тис. ударів.

Таким чином, довели небезпеку повторних напруг, які досягають за величиною половину від напруги, що одноразово ламає метал. Щоб виключити вирішальну роль вібрацій, які неминуче супроводжують кожен удар, провели й досліді зі спокійно діючим повторним навантаженням - вони дали ті ж самі результати. Ця низка систематичних досліджень, проведених згодом, підтвердила зовнішню, механічну картину руйнувань від повторних навантажень. Ці руйнування довелося приписати новій властивості металів. Як і живому організму, виявилось, що металам притаманна здатність відчувати втому. Вперше термін «втома металу» вжив 1854 року. фізик, англійський учений Фредрик Брейтуейт в своїй праці «Про



Втома металу в дії

Зараз вивченням втомних напружень в конструкціях і деталях машин займається спеціальний напрям механіки - опір матеріалів. Відповідно до сучасних формулювань, втома металу - це ослаблення матеріалу, спричинене циклічним навантаженням. Вона призводить як до локалізованих, так і до прогресуючих ушкоджень структури металу і росту тріщин. Як тільки втомна тріщина з'являється, кожен наступний цикл напруги сприяє її збільшенню. При цьому на деяких ділянках, які руйнуються, з'являються характерні опуклості. Сама ж тріщина продовжує рости, поки не досягне критичного для матеріалу розміру.

Після чого стрімко поширюється, спричинюючи повне руйнування структури виробу. При цьому, властивість, що протилежна втомі, називається «витривалістю металу», тобто, це здатність матеріалу переносити повторні навантаження і не руйнуватися.

Щоб до кінця зрозуміти, що таке втома металу, і оцінити всю серйозність цієї властивості матеріалу, потрібно вказати на одну характерну сторону прогресу в машинобудуванні. З кожним роком швидкості машин ростуть. Разом з ними зростає і число змінних напруг, які «судилося» випробувати механізмам за весь термін експлуатації. У свою чергу, разом з ростом змінних напруг надзвичайно швидко зростає і ризик руйнування конструкції від втоми і негативних наслідків можливої поломки.

Варто згадати аварію на Саяно-Шушенській ГЕС, яку за соціальними і економічними наслідками порівнювали з аварією на Чорнобильській АЕС. Ця техногенна катастрофа на р. Єнісей сталася 2009 року, і дотепер вважається найбільшою поломкою в історії гідроенергетики, яка потягнула за собою людські жертви, інфраструктурний збиток і серйозне забруднення акваторії річки. У результаті аварії загинуло 75 осіб, будівля станції і технологічне обладнання були затоплені і майже зруйновані, а виробництво електроенергії зупинено.

Перебої зі зв'язком і відсутність інформації про стан греблі викликали паніку у місцевих жителів, які почали спонтанну евакуацію в населені пункти вище за течією Єнісею. Нормальне життя і енергетична безпека регіону були серйозно порушені. Для відновлення Саяно-Шушенській ГЕС знадобилося цілих п'ять років. У висновках Ростехнагляду про причини аварії фігурують саме втомні пошкодження вузлів кріплення, що утримують кришку турбіни гідроелектростанції.

Як визначити втому металу?

Незважаючи на те, що втома - це властивість, притаманна самій природі металу, подібні катастрофи, спричинені втомною напругою, зараз трапляються рідко. Річ у тому, що закони втоми вже добре вивчені. Це дозволяє вести з нею організовану боротьбу в конструктивному, технологічному і металургійному напрямках. Але для початку поговоримо про те, як можна визначити, що метал починає втомлюватися. Для цього існує кілька методів:

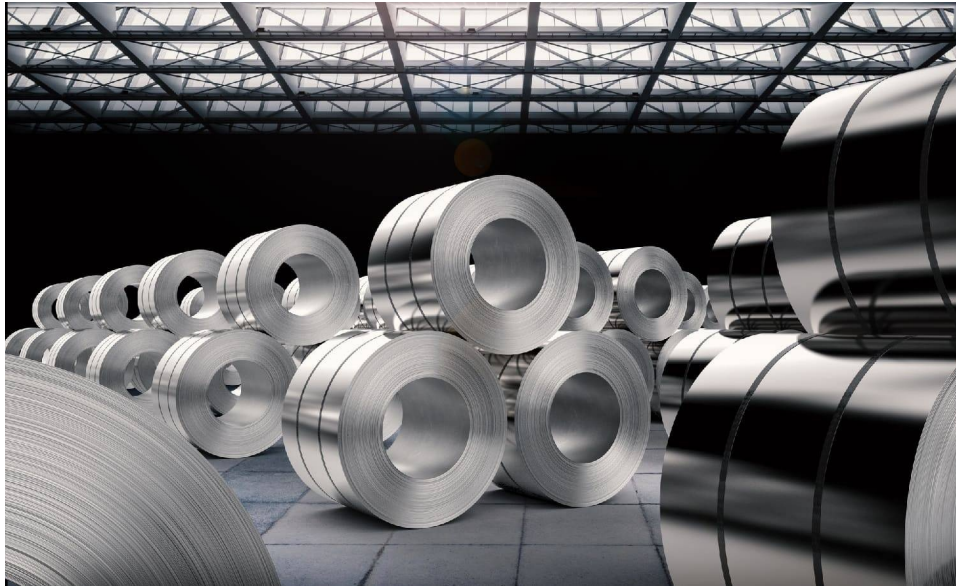
- Візуальний контроль. Виявлення тріщин або інших деформацій
- Прослуховування. Пошкоджений метал видає специфічний стукіт
- Ультразвуковий контроль і радіологічне дослідження (рентген). У цьому сенсі діагностика металевих конструкцій і людського тіла дуже схожі
- Флуоресцентні пігменти. Вони роблять тріщини видимими.
- Магнітні порошки. Застосовуються для деталей, виготовлених із заліза.

Окремо зауважимо, що якщо метал перебуває в середовищі, що має шкідливу роз'їдаючу дію або, інакше

кажучи, в корозійному середовищі, він веде себе особливим чином.

Корозія

значно сприяє збільшенню втомної тріщини, яка при цьому може зароджуватися при менших напругах, а поглиблюватися прискореними темпами. Виникає так звана корозійна втома металу. Захист від неї дають всілякі поверхневі покриття - від забарвлення до гальванізації.



Як побороти втому металу?

Конструктивні заходи боротьби з втомою полягають в наданні деталям таких форм, при яких відсутні гострі або мало закруглені вхідні кути, різкі переходи перетинів, виточки малого радіуса і таке інше. В іншому разі виникає небезпека різкої концентрації напружень. Часто для усунення конструктивних помилок досить просто збільшити розміри деталі. Це знизить напругу і буде перешкоджати перевищенню меж втоми.

Технологічні заходи боротьби з втомою часто зводяться до правильної технологічної обробки деталей. Наприклад, в деталях з високоміцної сталі насамперед звертається увага на шліфування поверхні. При цьому неправильна збірка конструкцій також здатна створити небезпечні змінні напруги.

Не можна забувати і про металургійну лінію боротьби з поломками від втоми. Центрами, з яких починається втомна тріщина, можуть бути сторонні включення, що трапляються в металі через забруднення при його відливанні (наприклад, шлакові включення). Однак, зазначимо, що на сучасному етапі розвитку галузі провідні металургійні підприємства цілеспрямовано працюють як над підвищенням чистоти металу, так і над удосконаленням хімічного складу і процесів термообробки продукції, що випускається.

В результаті інженери і будівельники зараз мають справу з принципово іншими, більш міцними сортами сталі. Їм все ще знайома втома, але критичні поломки металевих конструкцій і деталей через втомну напругу майже зведені до мінімуму