

«Усталость металла»: как обнаружить и предотвратить

Если бы вы знали, как был взволнован весь технический мир, когда в середине XIX века начали обнаруживаться случаи внезапного разрушения осей почтовых карет, шеек вагонных осей и других механизмов, сделанных из вполне надежного и добротного металла!



Так, в 1842 г. неподалеку от Версаля переполненный пассажирский состав с французами, возвращавшимися с дворцового праздника, сошел с рельсов и загорелся из-за того, что в локомотиве сломалась ось. Именно тогда французы отказались от практики запираеть железнодорожные вагоны, а ученые начали всесторонне исследовать причину возникшей проблемы. Инженерам, металлургам, материаловедам лишь предстояло понять и сформулировать, что такое усталость металлов и сплавов и от чего она зависит.

Испытание на усталость металла

Постепенно было замечено, что разрушения происходят в случаях, когда металлическое изделие подвергается либо многочисленным повторным нагрузкам (в сочетании с разгрузками) либо нагрузкам в противоположных направлениях. Например, поочередные сжатия и растяжения, повторные изгибы в разные стороны и т.п. Для выяснения причин этих тревожных явлений было решено изучить вопрос пригодности железа как материала для

[постройки мостов](#)

. Наблюдавшиеся поломки можно было объяснить двумя причинами. Либо прочность металла имеет свойство падать вне зависимости от условий его эксплуатации (это стало бы настоящей катастрофой для активно развивающегося промышленного производства!), либо разрушение вызывается многократной сменой напряжений.

Чтобы решить, какая из догадок была верна, исследователи провели следующий опыт. Несколько чугунных стержней были нагружены до напряжений, еще не вызывающих разрушения, но уже очень близких к таковым (напомним, что чугун – достаточно хрупкий материал, который разрушается без остаточной деформации). В нагруженном состоянии стержни были оставлены на четыре года. По прошествии этого срока оказалось, что образцы не разрушены. Следовательно, первое предположение естествоиспытателей являлось ошибочным. Затем были поставлены опыты с изломом чугунных балок под действием падающего на них груза. При каждом ударе измерялся полученный балкой прогиб. Выяснилось, что при прогибе, равном половине того прогиба, который дает излом балки от однократного удара, образец ломался после 4 тыс. ударов. А вот при прогибе, равном одной трети прогиба излома, балка выдерживала значительно больше, чем 4 тыс. ударов.

Таким образом, была доказана опасность повторных напряжений, которые достигают по величине половины от однократно ломающих металл. Чтобы исключить решающую роль вибраций, которые неизбежно сопровождают каждый удар, провели и опыты со спокойно действующей повторной нагрузкой – они привели к тем же результатам. Целый ряд систематических исследований, проведенных впоследствии, доказал внешнюю, механическую картину разрушений от повторных нагрузок. Эти разрушения пришлось приписать новому свойству металлов. Как и живому организму, им оказалось присуща способность испытывать усталость.

Впервые термин «усталость металла» употребил в 1854 г. физик, английский ученый Фридрих



Усталость металла в действии

Сейчас изучением усталостных напряжений в конструкциях и деталях машин занимается специальное направление механики - сопромат (или сопротивление материалов). Согласно современным формулировкам, усталость металла – это ослабление материала, вызванное циклической нагрузкой. Она приводит как к локализованным, так и к прогрессирующим повреждениям структуры металла и росту трещин. Как только усталостная трещина появляется, каждый следующий цикл напряжения способствует ее увеличению. При этом на некоторых участках, которые разрушаются, появляются характерные выпуклости. Сама же трещина продолжает расти, пока не достигнет критического для материала размера. После чего стремительно распространяется, вызывая полное разрушение структуры изделия. При этом, обратное усталости свойство называется «выносливость металла», т.е. способность материала переносить повторные нагрузки и не разрушаться.

Чтобы до конца понять, что такое усталость металла, и оценить всю серьезность этого свойства материала, нужно указать на одну характерную сторону прогресса в машиностроении. С каждым годом скорости машин растут. Вместе с ними растет и число переменных напряжений, которые «суждено» испытать механизм за весь срок ее эксплуатации. В свою очередь, вместе с ростом переменных напряжений чрезвычайно быстро возрастает и риск разрушения конструкции от усталости и негативных последствий возможной поломки.

Стоит вспомнить аварию на Саяно-Шушенской ГЭС, которую по социальным и экономическим последствиям сравнивали с аварией на Чернобыльской АЭС. Эта техногенная катастрофа на р. Енисей произошла в 2009 г. и до сих пор считается крупнейшей поломкой в истории гидроэнергетики, повлекшей за собой человеческие жертвы, инфраструктурный ущерб и серьезное загрязнение акватории реки. В результате аварии погибло 75 человек, здание станции и технологическое оборудование было затоплено и практически разрушено, а производство электроэнергии остановлено. Перебои со связью и отсутствие информации о состоянии плотины вызвали панику у местных жителей, которые начали спонтанную эвакуацию в населенные пункты выше по течению Енисея. Нормальная жизнь и энергетическая безопасность региона были серьезно нарушены. Для восстановления Саяно-Шушенской ГЭС потребовалось целых пять лет. В выводах Ростехнадзора о причинах аварии фигурируют именно усталостные повреждения узлов креплений, удерживающих крышку турбины гидроэлектростанции.

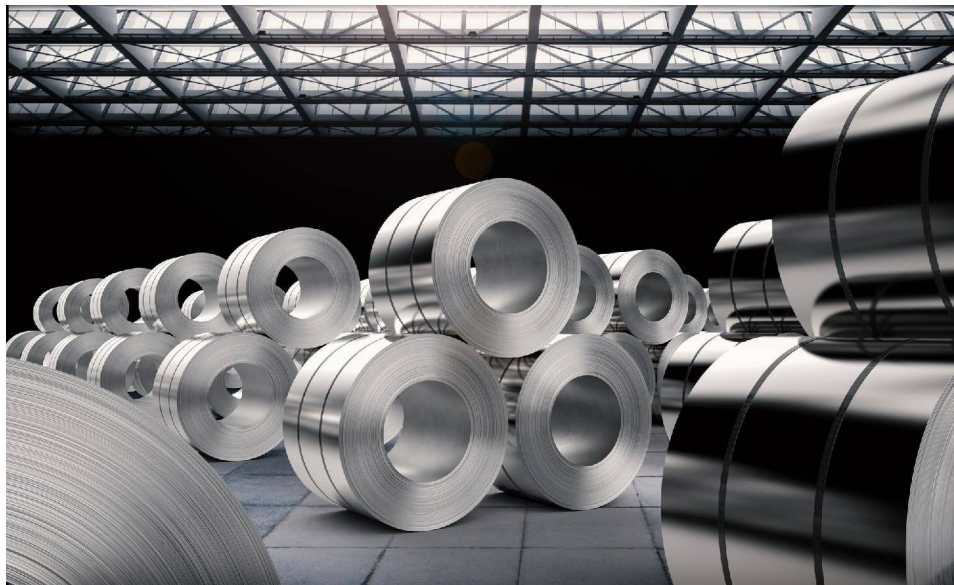
Как определить усталость металла?

Несмотря на то, что усталость – это свойство, присущее самой природе металла, подобные катастрофы, вызванные усталостным напряжением, сейчас случаются редко. Дело в том, что законы усталости уже хорошо изучены. Это позволяет вести с ней организованную борьбу в конструктивном, технологическом и металлургическом направлениях. Но для начала поговорим о том, как можно определить, что металл начинает уставать. Для этого существует несколько методов:

- Визуальный контроль. Выявление трещин или других деформаций
- Прослушивание. Поврежденный металл издает специфический стук
- Ультразвуковой контроль и радиологическое исследование (рентген). В этом смысле диагностика металлической конструкции и человеческого тела очень схожи
- Флуоресцентные пигменты. Они делают трещины видимыми.
- Магнитные порошки. Применяются для деталей, изготовленных из железа.

Отдельно оговоримся, что если металл находится в среде, оказывающей вредное разъедающее действие или, иначе говоря, в коррозионной среде, он ведет себя особым образом.

значительно способствует распространению усталостной трещины, которая при этом может зародиться при меньших напряжениях, а углубляться ускоренными темпами. Возникает так называемая коррозионная усталость металла. Защиту от нее дают всевозможные поверхностные покрытия - от окраски до гальванизации.



Как бороться с усталостью металла?

Конструктивные меры борьбы с усталостью заключаются в придании деталям таких форм, при которых отсутствуют острые или мало закругленные входящие углы, резкие переходы сечений, выточки малого радиуса и т.п. В противном случае возникает опасность резкой концентрации напряжений. Часто для устранения конструктивных ошибок достаточно просто увеличить размеры детали. Это снизит напряжение и будет препятствовать превышению предела усталости.

Технологические меры борьбы с усталостью зачастую сводятся к правильной технологической обработке деталей. К примеру, в деталях из высокопрочной стали в первую очередь обращается внимание на шлифовку поверхности. При этом неправильная сборка конструкций также способна создать опасные переменные напряжения.

Нельзя забывать и о металлургической линии борьбы с поломками от усталости. Центрами, из которых начинается усталостная трещина, могут являться посторонние включения, встречающиеся в металле из-за загрязнения при его отливке (например, шлаковые включения). Однако, отметим, что на современном этапе развития отрасли ведущие металлургические предприятия целенаправленно работают как над повышением чистоты металла, так и над усовершенствованием химического состава и процессов термообработки выпускаемых продуктов.

В результате инженеры и строители сейчас имеют дело с принципиально иными, более прочными сортами стали. Им все еще знакома усталость, но критические поломки металлических конструкций и деталей из-за усталостного напряжения практически сведены к минимуму.