

## Усталостная прочность материалов

Васелюк П.С.

(Научный руководитель – Босовец Ф.П.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Одной из самых непредсказуемых причин разрушения машин и инженерных конструкций является не статическое нагружение, а так называемая усталость материала от постепенно накапливающегося эффекта действия циклических динамических нагрузок.

При многократной (миллионы раз) повторной нагрузке происходит явление усталости металла и его разрушение при напряжениях, меньших, чем предел прочности и даже предел текучести. напряжение, при котором происходит такое разрушение металла называется вибрационной прочностью или усталостью. Вибрационная прочность неодинакова для различных марок сталей и зависит от характера циклов, нагрузки и их количества.

Вибрационная прочность зависит от числа циклов нагрузки и имеет гиперболический характер, асимптотически приближается к определенной величине напряжений, называемой пределом выносливости или пределом усталости.

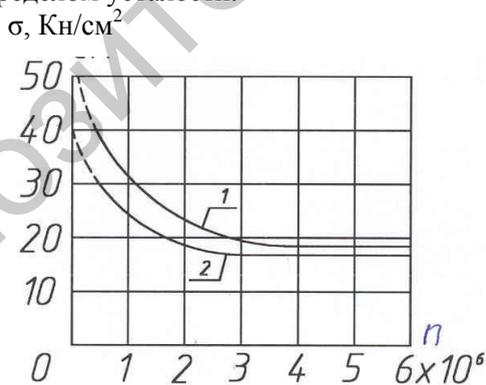


Рисунок 1. Кривые вибрационной прочности стали  
1 – низколегированной; 2 – углеродистой

На рисунке 1 показаны кривые вибрационной прочности стали. На выносливость проверяют не только металлоконструкции, но и железобетонные элементы.

При длительном воздействии циклической нагрузки постепенно развиваются внутрикристаллические микротрещины. В дальнейшем эти микротрещины переходят на соседние кристаллы и образуют усталостные трещины. По А.А. Гриффитсу трещины, длина которых меньше критической длины  $l_g$  не опасны. Опасны трещины, длина которых больше критической длины, т.к. они интенсивно развиваются.

Трещины докритической длины тоже растут, только очень медленно. В частности, при циклических нагрузках ослабляется кристаллическая структура металла, и трещина постепенно увеличивается. Рано или поздно «усталостная трещина» достигает критической длины. Тогда скорость ее распространения резко возрастает и наступает усталостное разрушение. Поверхность излома - крупнозернистая, кристаллическая.

Первые представления об усталостных эффектах появились два столетия назад. Промышленная революция породила новую технику, и было замечено, что движущиеся части машин выходят из строя при сравнительно малых нагрузках, совершенно безопасных для неподвижных конструкций. Тогда было выявлено, что внезапно ломаются валы, турбинные лопатки, штоки машин, железнодорожные рельсы и т.д. В середине XIX века немецкий исследователь-инженер А. Вёлер провел тщательное исследование этой проблемы и выяснил, что усталость материала наступает в результате многократных повторений нагрузок во времени (циклов). С увеличением числа циклов разрушающее напряжение сначала падает, а потом после миллиона циклов, выходит почти на некоторый постоянный уровень (рис. 1).

В реальных конструкциях материал подвергается не только знакопеременным нагрузкам типа растяжение-сжатие, а нагружается одновременно и переменным и статическим напряжением. Понятно, что в конструкциях, подвергающихся совместному действию статических и динамических нагрузок, опасность усталостного разрушения особенно велика.

Изучение характера поломок деталей машин показало, что важную роль играет форма деталей, способы их обработки, способы соединения деталей. Каждое соединение создает дополнительную концентрацию напряжений. Если стержень ввинчивается в отверстие, то концентрация напряжений возникает именно у отверстия. Дополнительную концентрацию напряжений создают надрезы, отверстия, швы и т.д. Опытные инженеры обычно предусматривают такую возможность и проводят тщательную дефектоскопию в местах возможной концентрации напряжений с целью их устранения. Чем более плавным будет соединение, тем меньше концентрация напряжений, тем менее вероятны поломки.

Но особенную опасность представляют трещины. Известны случаи, когда паровые котлы, выдерживавшие при испытании большое статическое давление, взрывались после нескольких часов эксплуатации в динамическом режиме. При расследовании выяснилось, что сварные швы котла имели дефекты, и нескольких циклов нагружения при небольших нагрузках было достаточно для усталостного разрушения.

Развитию усталостных трещин может способствовать не только периодическая вибрация двигателей, но и случайные колебания атмосферных и акустических потоков. Дело в том, что для возникновения усталости важна не периодичность, а общее число циклов, поэтому различные по спектру случайные колебания представляют не меньшую потенциальную опасность, чем периодические воздействия.

Одна из основных причин аварий, обусловленных усталостными трещинами, заключается в трудности их обнаружения. Поэтому сейчас вводятся новые акустические средства диагностики и дефектоскопии.

Конечно, в конце концов, все конструкции со временем выходят из строя или разрушаются сами. Задача инженера – продлить срок службы машины. Если же авария может повлечь за собой гибель людей, то надо позаботиться еще и о «живучести» конструкции. На воздушных или морских судах конструктор обычно дублирует или усиливает те узлы, которые подвержены разрушению. Тем не менее, в тех конструкциях, где возможно усталостное разрушение, дефектоскопия должна быть особенно тщательной.

Особенно опасной для элементов металлических конструкций является работа, когда циклические напряжения растяжения-сжатия превышают предел текучести. В этом случае разрушение может произойти при числе циклов в 10-100 раз меньшем. Такое разрушение металла носит название малоциклового усталостью или малоциклового прочностью.

Разрушение конструкций от усталости носит всегда хрупкий характер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Металлические конструкции. А.А. Васильев - М., Стройиздат, 1976.
2. Вибрация – друг или враг? Н.В. Фролов - М., Наука, 1984.
3. Динамический расчет железобетонных конструкций. Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев. - М., Стройиздат, 1974.