

1.3 Обеспечение ресурса изделий.

Основные понятия

Как было сказано ранее, уровень безопасности конструкции в целом определяется долговечностью её критических мест.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Надежность – свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции. Это комплексное свойство, которое сочетает в себе *долговечность*, *безотказность*, *ремонтпригодность* и *сохраняемость*.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения

Система государственных стандартов относит термин «долговечность» к такому понятию, как *надёжность* – свойство объекта сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций. Надежность является комплексным свойством, которое сочетает в себе *долговечность*, *безотказность*, *ремонтпригодность* и *сохраняемость*.

Долговечность согласно ГОСТу – это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатель, характеризующий долговечность по календарному времени называется сроком службы, а по наработке – ресурсом. В дальнейшем будем использовать именно этот показатель.

Так, для самолетов ресурс выражается в лётных часах или в числе полётов, для автомобилей – в километрах пробега, для приборов – в циклах включения-выключения и т.д.

Экономически выгодным считается технический ресурс самолета в 60 тысяч летных часов. Примерно половину этого срока самолет должен гарантированно эксплуатироваться без повреждений, а вторую половину – с допустимыми повреждениями деталей и их заменой при ремонте.

В настоящем курсе мы рассмотрим влияние технологии и условий производства на ресурс деталей, выделим факторы, влияющие на него отрицательно, и покажем технологические приемы, обеспечивающие его повышение.

Ресурс такого изделия, как самолет определяется главным образом сопротивлением усталости, в меньшей степени – сопротивляемостью коррозионному воздействию и износу отдельных элементов.

Кратко рассмотрим основные понятия, связанные с усталостью конструкций и относящиеся к курсу сопротивления материалов.

Многие детали машин, такие, как обшивка крыла и детали силового каркаса самолета, различные валы и оси, зубчатые колеса и т.д. испытывают во время работы

повторно-переменные циклические нагрузки, меняющие свою величину и направление. Под их действием при напряжениях, существенно меньших, чем предел текучести в материале зарождаются и постепенно развиваются трещины, вызывающие в итоге разрушение конструкций. Такое разрушение принято называть «усталостным».

Проблема усталости металлов возникла с середины 19 века в связи с рядом железнодорожных катастроф из-за разрушения колесных осей паровозов. Начало систематического изучения данной проблемы положено в 1863 году, когда немецким учёным и железнодорожным инженером Августом Вёллером была опубликована работа об исследовании разрушений стальных образцов от переменных нагрузок.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Усталость – процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению.

Выносливость – свойство материала противостоять усталости.



ГОСТ определяют усталость как процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению.

Свойство материала противостоять усталости в ряде литературных источников называют выносливостью. ГОСТом же рекомендован к употреблению термин «сопротивление усталости».

Нагрузки, действующие на самолет, отличаются большим разнообразием и имеют случайный характер. Однако, в связи с длительным периодом эксплуатации для них характерна повторяемость, а в ряде случаев – цикличность. Считается, что нагрузки цикла «земля – воздух – земля» порождают от 60 до 80 % усталостной повреждаемости агрегатов самолета. Действие таких нагрузок можно свести к эквивалентному циклу с повторяемостью, соответствующей числу полетов.

В связи с влиянием на сопротивляемость конструкции большого количества случайных факторов, таких как колебания свойств материалов, влияние условий производства и внешней среды, число циклов нагружения, которое должна выдержать конструкция, принимают с 3-5 кратным запасом.

Основными параметрами циклических нагрузок являются

- минимальное и максимальное напряжение;
- амплитуда цикла;
- а также среднее напряжение, являющееся статической, т.е. постоянной во времени составляющей цикла.

Важной характеристикой циклических нагрузок является коэффициент асимметрии цикла R , равный отношению минимального напряжения к максимальному. По значениям этого коэффициента циклы переменного нагружения можно разделить на симметричные, для которых коэффициент $R = -1$, и несимметричные, частным случаем которых являются пульсирующие или отнулевые циклы у которых $R = 0$.

Законченная теория усталостного разрушения на сегодняшний день отсутствует. В связи с этим для изучения данного явления в основном используются экспериментальные методы, которые заключаются в испытании, как стандартных образцов, так и натуральных элементов конструкций на специальных испытательных машинах.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Методы испытаний образцов на усталость

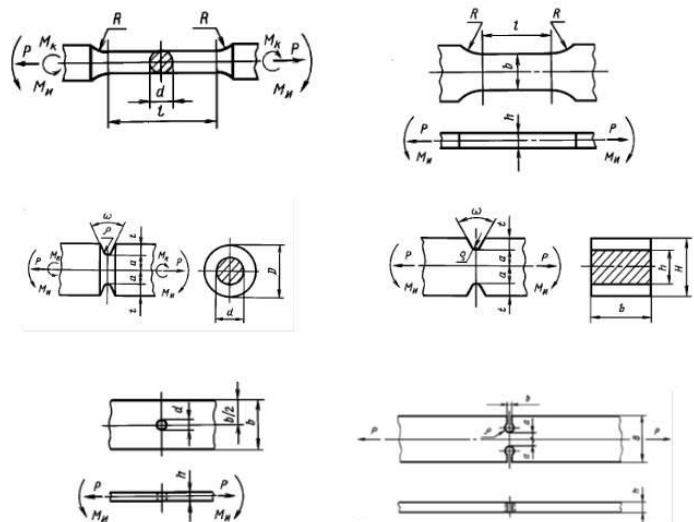
- при растяжении-сжатии, изгибе и кручении;
- при симметричных и асимметричных циклах напряжений или деформаций, изменяющихся по простому периодическому закону с постоянными параметрами;
- при наличии и отсутствии концентрации напряжений;
- при нормальной, повышенной и пониженной температурах;
- при наличии или отсутствии агрессивной среды;
- в много- и малоциклового упругой и упругопластической области.

ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Метод механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость

Методы испытаний на усталость стандартизованы и отличаются схемами нагружения, параметрами цикла напряжений или деформаций, типом образцов, условиями проведения и т.д.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Типы и схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях



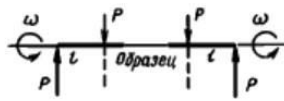
ГОСТ 25.502-79

Испытания проводят на образцах круглого и прямоугольного сечений, а также на образцах с выточками, боковыми надрезами и отверстиями, имитирующими концентрацию напряжений.

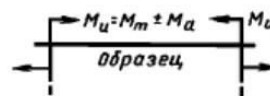
1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Схемы нагружения образцов при усталостных испытаниях

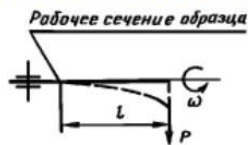
Чистый изгиб с вращением



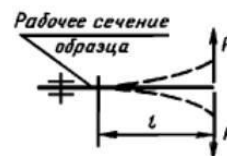
Чистый изгиб в одной плоскости



Поперечный изгиб с вращением при консольном нагружении



Поперечный изгиб в одной плоскости при консольном нагружении



Повторно-переменное растяжение-сжатие



Повторно-переменное кручение



ГОСТ 25.502-79

При испытаниях используют такие схемы нагружения, как чистый и поперечный изгиб, изгиб с вращением; растяжение-сжатие и кручение.

Имеются два существенно различных вида нагружения: мягкое – с заданным размахом нагрузки и жесткое – с заданным размахом деформации.

При мягком нагружении перемещение кинематически не ограничено и может изменяться в зависимости от изменения жесткости нагружаемой системы в период нарастания усталостных повреждений и развития усталостной трещины.

При жестком же нагружении усилие изменяется в зависимости от изменения жесткости, а значения циклических деформаций сохраняют свои значения.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Машины для усталостных испытаний

1. С механическим силовым приводом

- С нагружением при помощи кривошипов, эксцентриков, пружин, грузов и т.д. Нет возможности регулирования в процессе испытаний;
- С винтовым приводом. Возможность управления по нагрузке и деформации;
- Резонансные машины (используют эффект резонанса для повышения амплитуды нагрузки) с дисбалансным и электромагнитным возбуждением.

2. С гидравлическим приводом

- Пульсаторы с масляными насосами с механическим кривошипным приводом;
- Сервогидравлические машины с замкнутым контуром управления на основе сервоклапанов, управляющих потоком масла к актуатору пропорционально входному электрическому сигналу.

На сегодняшний день для проведения усталостных испытаний разработан ряд испытательных машин различных типов.

В машинах с механическим приводом нагрузка создается с помощью кривошипов, эксцентриков, пружин, грузов и т.д. без возможности регулирования в процессе испытаний.

Такие машины достаточно просты, но в случае высоких нагрузок они становятся очень громоздкими и поэтому их применяют лишь для небольших усилий.

Машины с винтовым приводом пригодны для управления по нагрузке и деформации и могут создавать различные законы нагрузка-время.

Механические резонансные машины используют эффект резонанса для повышения амплитуды динамической нагрузки.

К ним относятся машины с дисбалансным и электромагнитным возбуждением.

Преимуществом таких машин является малая энергоёмкость и экономичность в эксплуатации.

Гидравлический привод позволяет значительно увеличить нагрузку и широко распространен в машинах для статических испытаний. Применение масляных насосов с механическим кривошипным приводом лежит в основе машин типа гидравлических пульсаторов, основная область применения которых – испытания строительных материалов при относительно низких частотах с высокими нагрузками.

Наиболее эффективным решением в области испытательной техники являются сервогидравлические машины с замкнутым контуром управления, который позволяет использовать нагрузку, деформацию, перемещение, скорость, ускорение и т.д. как непосредственные параметры управления.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Сервогидравлическая машина для усталостных испытаний EHF-EV101K2-040N-1A Shimadzu

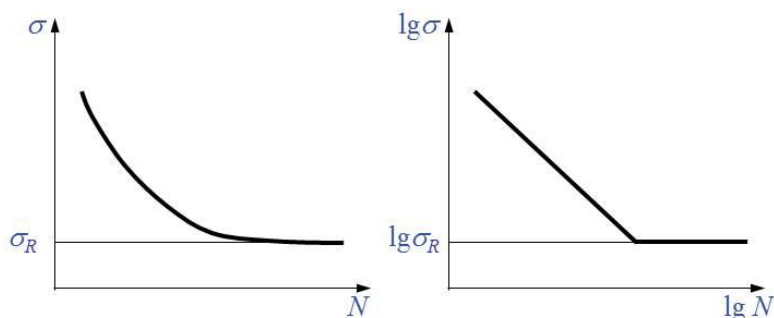


В этих машинах практически любой тип испытаний, в том числе резонансный, можно выполнить, сгенерировав электрический сигнал, соответствующий желаемым условиям нагружения образца.

Это стало возможным после разработки сервоклапанов, которые управляют потоком масла к актуатору пропорционально входному электрическому сигналу.

1.3 Ресурс изделий и сопротивление усталости. Основные понятия

Кривая усталости Вёллера



σ – максимальное напряжение или амплитуда цикла нагружения
 N – количество циклов до разрушения

Предел выносливости σ_R – максимальное напряжение цикла, при котором не происходит усталостного разрушения образца на принятой базе испытаний N .

Стали: $N = 10^7$; алюминиевые сплавы: $N = 10^8$.

Для симметричных циклов: σ_{-1} ; для пульсирующих циклов: σ_0 .

Результаты усталостных испытаний графически можно представить в виде кривой усталости или кривой Вёллера по горизонтальной оси которой отложено количество циклов нагружения до разрушения, а по вертикальной – максимальное напряжение или амплитуда цикла нагружения.

Часто кривые усталости строят в полулогарифмических или двойных логарифмических координатах, откладывая по оси абсцисс логарифм числа циклов, соответствующих разрушению образца, а по оси ординат – максимальное напряжение цикла или его логарифм.

Для построения кривой усталости проводят испытание партии одинаковых образцов (минимум 10...15 штук).

Первый образец испытывают при наибольшей амплитуде напряжений, составляющей от 0,6 до 0,75 напряжения предела прочности, а последующие – при снижающихся амплитудах. Каждому разрушенному образцу соответствует одна точка на графике.

Обработка результатов испытаний позволяет получить зависимость среднего числа циклов до разрушения от амплитуды переменных напряжений.

Практикой установлено, что для многих материалов характерной особенностью кривой усталости является наличие горизонтальной асимптоты. Напряжение, соответствующее этому участку кривой называется пределом выносливости и определяется, как предельное максимальное напряжение цикла, при котором не происходит усталостного разрушения образца после произвольно большого числа циклических нагружений.

Число циклов испытаний при определении предела выносливости ограничивают некоторым пределом, который называют базой испытаний. Для черных металлов это число составляет порядка 10 миллионов циклов.

Кривые усталости для цветных металлов не имеют горизонтальных участков, поэтому для них устанавливается предел ограниченной выносливости с базой испытаний 10 или 100 миллионов циклов.

Предел выносливости обозначают как σ_R , где R – коэффициент асимметрии цикла. Соответственно для нагружения с симметричными циклами, для которых $R = -1$, предел выносливости обозначают как σ_{-1} , а для пульсирующих циклов – σ_0 .

С конструктивными особенностями машин для усталостных испытаний и построением кривых усталости вы более подробно ознакомитесь в ходе лабораторных занятий в четвертом семестре.