ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

РЕЗИНА

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

ГОСТ 26365–84

Издание официальное

Цена 5 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН Министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. А. Сапронов, М. К. Хромов, В. В. Яковлева, К. Н. Лазарева

ВНЕСЕН Министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР

Член Коллегии **А. И. Лукашев**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 декабря 1984 г. № 4524

УДК 678.01:006.354 Группа Л69

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

РЕЗИНА

Общие требования к методам усталостных испытаний

Rubber. General requirements for fatique test methods

ГОСТ 26365—84

ОКСТУ 2509

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 декабря 1984 г. № 4524 срок действия установлен

с 01.01.86
до 01.01.91

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к методам усталостных испытаний, предназначенных для определения усталостно-прочностных характеристик резины в условиях циклического нагружения.

Стандарт применяется при исследовательских испытаниях с целью прогнозирования влияния усталостной прочности при усталостной выносливости на условия эксплуатации изделий.

1. ОТБОР ОБРАЗЦОВ

1.1. Форма образцов для испытания определяется видом деформации, способом крепления их в захватах машины и указана в нормативно-технической документации на методы испытания резин и резиновых изделий.

1.2. Для испытаний на одномерное растяжение применяют образцы в виде двухсторонних лопаток по ГОСТ 270—75.

1.3. Для испытаний на двумерное растяжение применяют образцы в виде тонкой пластины или крестообразные образцы.

1.4. Для испытаний на чистый изгиб с вращением применяют образцы в виде цилиндров с утолщенными концами (гантель) для лучшего их крепления, при этом длина цилиндра должна быть в три-четыре раза больше его диаметра. При испытании на простой изгиб с вращением применяются цилиндры, имеющие отношение

Издание официальное **Перепечатка воспрещена**

★

© Издательство стандартов, 1985

длины к диаметру больше четырех. Размеры утолщенных концов цилиндра в расчет не принимают.

1.5. Для испытаний на растяжение—сжатие применяют образцы в виде гантели, при этом длина цилиндра должна быть не более трех его диаметров (без учета утолщенных концов).

1.6. Для испытаний на кручение применяют образцы в виде гантели, при этом диаметр цилиндра должен быть не менее половины его высоты (без учета утолщенных концов).

1.7. Допускается применять образцы другой формы, при этом разрушение должно быть в зоне с известными однородными деформациями и удаленной от зажимов.

1.8. Образцы изготовляют путем вырубки из вулканизованных пластин или вулканизации в пресс-формах. Способ заготовки зависит от формы применяемых образцов. Общие требования к подготовке образцов для испытания—по ГОСТ 269—66.

Внутренняя поверхность пресс-форм для вулканизации пластин и образцов должна быть обработана с параметром шероховатости Ra не выше 0,63 мкм по ГОСТ 2.789—73.

1.9. Количество образцов для испытания зависит от цели испытания и разброса результатов испытаний для данного материала.

При испытании новых материалов и разработке новых методов наименьшее количество образцов, подлежащих испытанию, для получения результатов с заданной точностью при выбранной вероятности, определяют по ГОСТ 269—66.

2. АППАРАТУРА

2.1. Аппаратура для испытаний должна обеспечивать:

вид циклического нагружения:

гармонический,

импульсный,

с постоянной скоростью деформирования;

задание и измерение параметров режима нагружения:

циклической деформации (смещения),

циклического напряжения (силы),

циклической энергии деформации,

статических деформаций и напряжений;

циклическое движение при вынужденных нерезонансных колебаниях;

диапазоны частот до 1 и до 50 Гц.

2.2. Применяют аппаратуру, снабженную устройствами для автоматического определения количества циклов до разрушения образцов. Указанные требования могут быть реализованы на аппаратуре различного типа. Погрешности задания и измерения пара-

метров нагружения должны соответствовать указанным в стандартах на методы испытаний резин на усталость.

Аппаратура должна быть устойчивой, в процессе испытания заданные параметры нагружения и частота циклов должны поддерживаться постоянными.

Собственная частота колебаний аппаратуры должна превышать частоту нагружения, реализуемую при испытаниях, не менее чем на порядок.

2.3. Аппаратура, применяемая для испытания на растяжение, должна быть с устройствами для выбора квазиостаточных деформаций, накапливаемых в процессе испытания.

2.4. Для проведения испытаний при повышенных температурах аппаратура должна быть снабжена термокамерой с автоматическим поддержанием заданной температуры.

Допускаемая погрешность измерения температуры воздушной среды в рабочем объеме термокамеры не должна превышать ± 1°С для температур от 55 до 100 °С и ± 2 °С—для температур от 101 до 150 °С.

2.5. При испытании массивных образцов, разогревающихся в процессе циклического нагружения до температуры выше комнатной, должна быть предусмотрена система измерения температуры поверхности образца в процессе испытания без ее повреждения. Допускаемая погрешность измерения температуры образцов—по п. 2.5.

Допускается применять системы измерения температуры поверхности образцов после остановки аппаратуры и образца.

2.6. Для проведения испытаний в инертных газовых средах (азот, аргон) применяют аппаратуру с герметичной термокамерой. Необходима непрерывная подача инертного газа в камеру и измерения его расхода и содержания в нем кислорода.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

3.1. Параметры и виды циклических режимов нагружения приведены в обязательном приложении 1. Показатели выбирают в зависимости от цели исследования.

Метод испытания, параметры и виды режимов нагружения указывают в нормативно-технической документации на резины и резиновые изделия.

3.2. Параметры режима

Параметрами режима являются:

при одномерном растяжении:

максимальная деформация,

максимальное напряжение (сила),

максимальная энергия деформации,

статическая деформация растяжения и максимальная динамическая деформация или напряжение,

статическое напряжение и динамическое напряжение;

при двумерном растяжении:

максимальная деформация цикла,

статическая деформация и максимальная деформация цикла;

при изгибе с вращением:

амплитуда деформации,

амплитуда напряжения;

при растяжении—сжатии:

амплитуда динамической деформации или напряжения,

статическая деформация и амплитуда динамической деформации или напряжения;

испытания при кручении:

амплитуда деформации,

момент кручения.

3.3. Испытание образцов следует проводить без перерывов. При вынужденных перерывах образцы должны быть разгружены.

3.4. В помещении, где проводятся испытания на усталость, не должно быть источников образования озона.

3.5. Основным критерием разрушения при определении усталостных свойств резин является полное разрушение образца (разделение его на две части). Если при утомлении на поверхности образца появляются многочисленные трещины, сильно искажающие заданное напряженно-деформированное состояние, критерием разрушения следует считать появление этих трещин, размеры и число которых указаны в нормативно-технической документации на испытание данного материала.

3.6. Частота циклов в пределах серии сравниваемых резин должна быть одинаковой. Все образцы намеченной серии испытывают на однотипных машинах.

3.7. Установка и закрепление образцов в захватах испытательной машины не должны вызывать дополнительных напряжений от несоосности образцов и захватов.

3.8. Для получения кривой усталости испытания проводят при нескольких значениях деформации, напряжения или энергии цикла. Количество задаваемых значений указанных параметров зависит от типа резины, но должно быть не менее четырех. Интервалы деформации, напряжения, энергии зависят от изучаемого диапазона усталости резины и скорости изменения усталостной выносливости от деформации.

Для характеристики усталостных свойств резин следует определять усталостную выносливость в диапазоне от 10^2 до $5 \cdot 10^6$ циклов.

Рекомендуется сначала проводить испытания при наибольшей деформации установленного ряда, а затем деформации снижать.

В результате испытаний устанавливают зависимость между деформацией, напряжением или энергией цикла и количеством циклов до разрушения образца, которая может быть представлена графиками.

3.9. При циклическом одномерном растяжении в ходе испытания следует выбирать квазиостаточные деформации ($\varepsilon_{ост}$), накапливаемые в процессе испытания, и определять фактические деформации ($\varepsilon_ф$) на образцах по формуле

$$\varepsilon_ф = \varepsilon_0 - \varepsilon_{ост} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \cdot 100,$$

где ε_0 — заданная начальная деформация, %;

l_2 и l_1 — длина измеряемого участка растянутого и нерастянутого образца соответственно, после выбора квазиостаточной деформации и заданной продолжительности утомления, мм.

Методика выбора остаточных деформаций и определения фактических динамических деформаций должна быть в стандарте на данный метод испытания.

3.10. При применении машин, не позволяющих проводить испытания в режимах заданных напряжений и энергий, вначале получают кривые усталости сравниваемых резин при заданных деформациях, а затем результаты испытаний представляют в виде зависимости усталостной выносливости от напряжений и энергий деформации. Для этого на соответствующих приборах на образцах, подвергнутых утомлению, но не разрушившихся, определяют зависимости напряжений и энергий от деформации при температурах и частотах, соответствующих усталостным испытаниям.

Количество циклов утомления, после которых определяют зависимости напряжения или энергии от деформации, должно быть не менее 10. Допускается определять зависимость напряжения от деформации для утомленных образцов на разрывных машинах со скоростью растяжения 500 или 1000 мм/мин.

3.11. Допускается проводить испытания на усталость образцов с заранее нанесенным дефектом (порезом, проколом). В этом случае определяют зависимость усталостной выносливости от размера дефекта при различных деформациях или увеличение размера дефекта от количества циклов нагружения.

3.12. Испытания резин на усталость при совместном действии статической и динамической деформации проводят для резин, работающих в изделиях в сходном режиме.

Так как зависимость усталостной выносливости от статической деформации (при заданной динамической деформации) для большинства резин описывается немонотонной кривой, при испытаниях на усталость задают статическую деформацию, близкую к реализуемой в изделиях. Для более полной оценки усталостных

свойств различных резин в указанном режиме получают зависимость усталостной выносливости от статической деформации.

3.13. Испытания при повышенных температурах

Значения температур должны быть указаны в нормативно-технической документации на резины и резиновые изделия. При отсутствии таких указаний значения температур выбирают из ряда: 55, 70, 85, 100 и 125°С. При многократном растяжении образцов-лопаток выбирают температуры, при которых не происходит химическое течение.

Испытания при повышенных температурах проводят на машинах, снабженных термокамерами.

Образцы устанавливают после достижения в камере заданной температуры и прогревают в течение заданного времени без деформации. Для тонких образцов-лопаток за температуру образца принимают температуру в термокамере. Для образцов, разогревающихся в процессе деформирования, за температуру испытания принимают температуру поверхности образца. Заданную температуру поверхности образцов для сравниваемых резин с различным теплообразованием устанавливают путем изменения температуры в термокамере по методам, изложенным в стандартах на конкретные методы испытания резин на усталость.

Выбор квазиостаточных деформаций и определение фактических деформаций при многократных деформациях растяжения образцов-лопаток проводят по п. 3.9.

3.14. Испытания в условиях инертной среды

Испытания на усталость в инертной среде проводят для резин, работающих в изделиях в условиях изоляции от кислорода воздуха и с целью оценки химических факторов усталости.

Испытания в условиях инертной среды проводят при тех же деформациях и частотах и на тех же типах образцов, что и на воздухе. Образец должен непрерывно находиться в инертной среде.

Испытания образцов проводят без перерывов до разрушения.

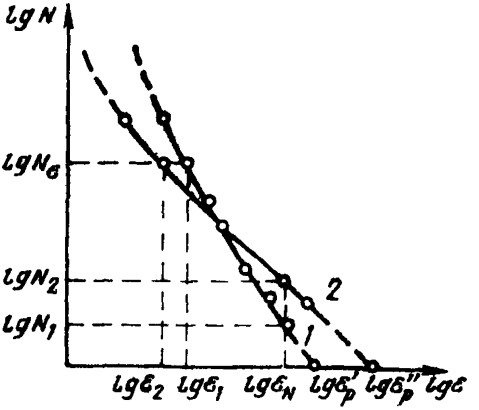
4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Зависимость показателей усталостных свойств от условий испытания и состава резин приведена в справочном приложении 2.

4.2. Усталостную выносливость $\overline{N}_{ср}$ для заданного параметра механического воздействия определяют по результатам испытаний ряда выбранных образцов. За $\overline{N}_{ср}$ принимают среднее арифметическое значение всех испытанных образцов. Если установлено, что распределение результатов испытаний не описывается законом

Гаусса, то $\overline{N}_{ср}$ находят как среднее значение логарифмов отдельных образцов.

4.3. Для определения показателей усталостных свойств резин строят график зависимости усталостной выносливости от деформации, напряжения или удельной энергии в двойных логарифмических координатах. Пример построения графика зависимости усталостной выносливости от максимальной деформации цикла для резин 1 и 2 приведен на чертеже.



N_1 и N_2 — усталостная выносливость для резин *1* и *2*, соответствующая заданной максимальной деформации цикла ε_N; ε_1 и ε_2 — максимальные деформации цикла для резин *1* и *2*, соответствующие усталостной выносливости N_ε; ε'_p, ε''_p — деформации, соответствующие однократному нагружению ($N=1$) для резин *1* и *2* (полученные экстраполяцией кривых на значение $\lg N=0$)

При построении такого графика находят значение механического параметра, соответствующего однократному нагружению. Для этого используют метод утомления при больших деформациях и экстраполяции значений N к $\lg N=0$.

При необходимости определения показателей усталостной прочности или усталостной выносливости за пределами экспериментальной зависимости в области небольших деформаций допускается экстраполировать прямые не более, чем на один-полтора десятичных порядка. Графические или табличные зависимости $\lg N$—$\lg \varepsilon$, $\lg N$—$\lg f$ и $\lg N$—$\lg W$ являются основной исходной характеристикой усталостных свойств резин.

4.4. Значение усталостной прочности или усталостной выносливости, определенное при заданном числе циклов и заданном па-

раметре механического нагружения, недостаточно для характеристики усталостных свойств материала. При феноменологическом рассмотрении собственные усталостные свойства резин характеризуются коэффициентами уравнений, описывающих зависимость усталостной прочности от числа циклов нагружения до разрушения и усталостной выносливости от параметров механического нагружения.

Виды кривых усталостной выносливости, методы их описания и характеристика факторов усталости приведены в справочном приложении 2.

4.5. Для характеристики логарифмических зависимостей усталостной выносливости определяют коэффициенты усталостной выносливости β_ε, β_f, β_W из уравнений:

$$N = N_0(\varepsilon_p/\varepsilon)^{\beta_\varepsilon}$$

$$N = N_0(f_p/f)^{\beta_f}$$

$$N = N_0(W_p/W)^{\beta_W},$$

где N—усталостная выносливость, соответствующая усталостной деформации ε, усталостному условному напряжению f или усталостной энергии цикла W; ε_p, f_p, W_p —усталостные деформации, условная прочность и удельная энергия, соответствующие N_0 циклу нагружения.

Значение N_0 принимают равным 1.

Коэффициенты β_ε, β_f и β_W могут быть постоянными в некоторой области деформаций или уменьшаться или увеличиваться с уменьшением деформации (см. справочное приложение 2).

4.6. Результаты испытаний на усталость при совместном действии статической $\varepsilon_{ст}$ и динамической деформации представляют в виде зависимости логарифма усталостной выносливости N от статической составляющей деформации $\lg N$—$\varepsilon_{ст}$ или в виде зависимости $\lg N$—$\lg W^*$, где W^*—удельная энергия деформации, определяемая по площади под кривой нагружения $f(\varepsilon)$ в пределах от максимальной статической до максимальной динамической деформации.

Методы обработки данных усталостной выносливости при совместном действии статических и динамических деформаций приведены в справочном приложении 2.

Результаты испытаний записывают в протокол, содержащий следующие данные:

обозначение резины и условия вулканизации;

форму и размеры образца;

обозначение стандарта на метод испытания;

тип машины;

тип динамического движения

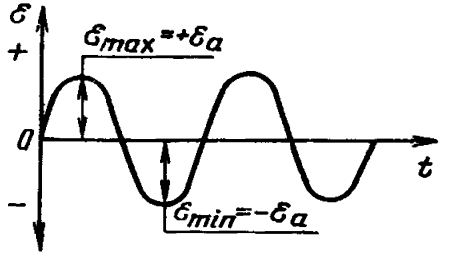
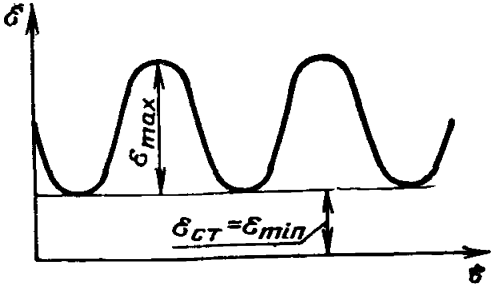
вид деформации;
частоту циклов;
температуру испытания;
количество образцов для испытания;
метод определения напряжения и энергии;
при каждой деформации, напряжении, энергии:
значение усталостной выносливости отдельного образца,
среднее значение усталостной выносливости;
другие показатели, характеризующие усталостные свойства резины;
дату испытания.

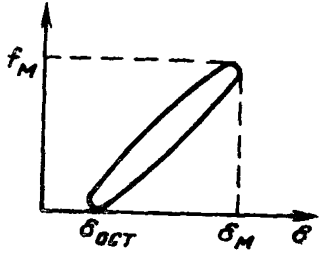
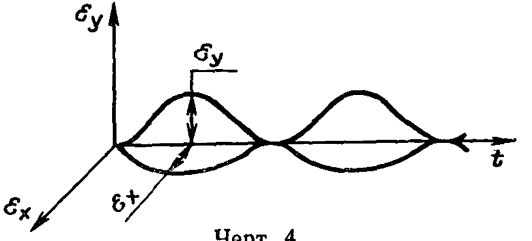
ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Обязательное

Таблица 1

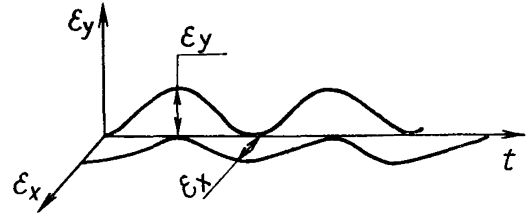
Параметры циклического режима нагружения и пояснения к ним

Параметр нагружения	Пояснение
1. Амплитуда деформации цикла	Наибольшее значение переменной составляющей деформации цикла, равное половине алгебраической разности максимальной и минимальной деформаций цикла
2. Амплитуда напряжения цикла, Па (кгс/см^2)	Наибольшее значение переменной составляющей напряжения цикла, равное половине алгебраической разности максимального и минимального напряжений цикла
3. Удельная энергия деформации цикла, Дж/м^3	Механическая энергия, равная работе, затраченной на деформацию образца от минимальной до максимальной деформации цикла и отнесенная к объему образца
4. Статическая деформация растяжения при асимметричном цикле	Постоянная составляющая деформации растяжения, на которую могут накладываться переменные циклические деформации или напряжение
5. Статическое напряжение при асимметричном цикле, Па (кгс/см^2)	Постоянная составляющая напряжения, на которую могут накладываться переменные циклические деформации или напряжение
6. Цикл	Совокупность последовательных значений переменных деформаций (напряжений) за один период замкнутого процесса их изменения
7. Частота циклов, Гц	Число циклов деформаций или напряжений в единицу времени
8. Период цикла, с	Продолжительность одного цикла

Параметр нагружения	Пояснение
9. Симметричный цикл	Цикл, максимальные и минимальные деформации (напряжения) которого равны по величине и противоположны по значению (черт. 1)
	 Черт. 1
10. Асимметричный цикл	Цикл, максимальные и минимальные деформации (напряжения) которого имеют разные значения (черт. 2).
	 Черт. 2

Параметр нагружения	Пояснение
11. Знакопеременный цикл 12. Знакопостоянный неустойчивый цикл	Цикл деформаций (напряжение), изменяющихся по величине и знаку Цикл деформаций (напряжений), изменяющихся только по величине и характеризующийся наличием квазиостаточных деформаций. Диаграмма зависимости напряжения от деформации приведена на черт. 3  $f_м$ — максимальное напряжение; $\varepsilon_м$ — максимальная деформация; $\varepsilon_{ост}$ — квазиостаточная деформация Черт. 3
18. Равномерное двумерное растяжение	Цикл, у которого максимальные деформации в двух ортогональных направлениях равны по величине и по знаку (черт. 4)  Черт. 4

Параметр нагружения	Пояснение
14. Неравномерное двумерное растяжение	Цикл, у которого максимальные деформации в двух ортогональных направлениях смещены на определенный фазовый угол (черт. 5).
15. Гармоническое нагружение	Цикл, в котором деформации (напряжения) изменяются по гармоническому закону (см. черт. 1—2)
16. Импульсное нагружение	Цикл, в котором деформации (напряжения) изменяются по негармоническому импульсному закону (черт. 6)



Черт. 5



Черт. 6

Продолжение табл. 1

Параметр нагружения	Пояснение
17. Нагружение с постоянной скоростью деформирования или возрастания напряжения	Негармонический цикл, в котором деформации (напряжения) изменяются с постоянной скоростью (черт. 7)



Черт. 7

Таблица 2

Показатели, рекомендуемые для характеристики усталостных свойств резин

Наименование показателя	Обозначение	Определение
1. Усталостная выносливость, циклы	N	Количество циклов многократных деформаций, которое может выдержать материал в заданных условиях не разрушаясь (число циклов до разрушения)
2. Усталостная прочность, Па (кгс/см^2)	f_N	Максимальное значение напряжения, при котором материал в заданных условиях может обеспечивать заданную усталостную выносливость
3. Усталостная деформация, %	ε_N	Максимальное значение деформации, при котором материал в заданных условиях может обеспечивать заданную усталостную выносливость
4. Усталостная удельная энергия, Дж/м^3 (кгс·см/см^3)	W_N	Максимальное значение удельной энергии, при котором материал в заданных условиях может обеспечивать заданную усталостную выносливость
5. Коэффициенты усталостной выносливости	β_f, β_ε, β_W	Коэффициенты, характеризующие зависимость усталостной выносливости от изменения параметров механического воздействия, степенного закона утомления в виде $N=N_0(P_0/P)^\beta$, где P_0 и P параметры нагружения (ε, f, W) для значения усталостной выносливости N_0 и N соответственно
6. Коэффициенты усталостной прочности, усталостной деформации, усталостной удельной энергии	$^1/_f$, $^1/\beta_\varepsilon$, $^1/\beta_W$	Коэффициенты, характеризующие скорость изменения усталостной прочности при утомлении степенного закона в виде $P=P_0(N_0/N)^{1/\beta}$, где P_0 и P усталостные прочностные параметры (ε_p, f_p, W_p) для баз утомления N_0 и N соответственно
7. Кривая усталости		График зависимости между максимальными деформациями, напряжениями, или энергиями цикла и усталостной выносливостью или зависимости усталостной выносливости от параметров режима нагружения
8. Циклическая долговечность, с, мин, ч		Время до разрушения образца под действием заданной циклической динамической деформации, напряжения или энергии

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ ОТ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЯ И СОСТАВА РЕЗИН

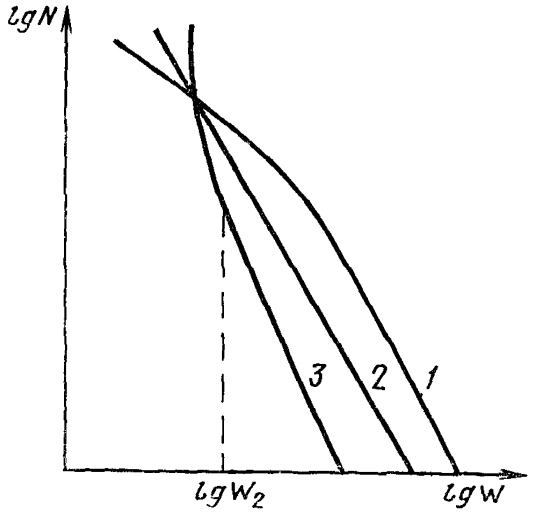
1. Влияние механического параметра нагружения

Усталость заключается в необратимом изменении структуры и свойств материала и в конечном счете нарушении целостности образца. Усталостные явления есть результат утомления—процесса воздействия на материал в течение определенного времени и в заданных условиях механических напряжений и деформаций, а также других сопутствующих немеханических факторов, таких как тепло, свет, кислород и озон воздуха, ускоряющих усталостное разрушение.

Усталостная выносливость, определяемая числом циклов до разрушения образца N, снижается с увеличением циклической деформации ε, напряжения f и удельной энергии деформации W. Зависимости N от ε, f и W, имеющие вид кривых типа Велера, удобно представлять в логарифмических координатах $\lg N$—($\lg\varepsilon$, $\lg f$, $\lg W$).

На черт. 1 показаны типичные зависимости $\lg N$—$\lg W$, сходный вид имеют зависимости N и от других параметров механического нагружения.

Зависимость усталостной выносливости от удельной энергии деформации для резин разного типа



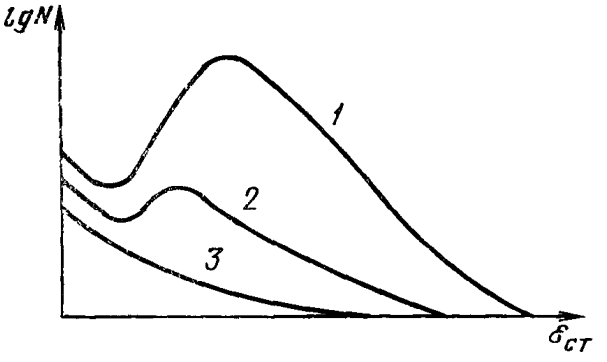
1—резины на основе химически нестойких эластомеров; *2*—резины с повышенной химической стойкостью, у которых в определенной области изменения N не наблюдается наступление условного предела усталости; *3*—эластомеры с повышенной химической стойкостью, у которых наблюдается быстрое наступление условного предела усталости

Черт. 1

Для резин на основе комбинации эластомеров, кривые усталостной выносливости в логарифмических координатах могут иметь S-образную форму.

Если утомлению при циклических деформациях подвергаются предварительно статически растянутые образцы, то зависимости N от статической деформации $\varepsilon_{ст}$ имеют вид, показанный на черт. 2.

Зависимость усталостной выносливости от статической деформации для резин различного типа



1—высокопрочные эластомеры, кристаллизующиеся при растяжении; *2*—высокопрочные наполненные некристаллизующиеся резины, например, из бутадиен стирольного каучука, *3*—малопрочные ненаполненные резины

Черт. 2

Немонотонные зависимости N от $\varepsilon_{ст}$ объясняются ориентационным и кристаллизационным упрочнением резин при их статическом растяжении. Ориентация материала вдоль направления циклического растяжения уменьшает скорость его разрушения

Зависимости усталостной выносливости от параметров механического воздействия предпочтительно представлять в координатах $\lg N$—$\lg W$ Это объясняется тем, что энергия деформации является таким параметром, который характеризует как величину внешнего воздействия, так и отклика материала на это воздействие

Энергия деформации является наиболее точным критерием усталостной выносливости для материалов с нелинейной зависимостью напряжения от деформации $f(\varepsilon)$ и при утомлении в условиях сложно-напряженного состояния. Для нелинейных кривых $f(\varepsilon)$ зависимости $\lg N$ ($\lg W$) могут быть линейные, при этом зависимости $\lg N(\lg f)$ и $\lg N(\lg\varepsilon)$ будут всегда нелинейные

Зависимости усталостной прочности или усталостной выносливости от значений параметров утомления можно описать степенными уравнениями следующего вида:

$$N=N_0(\varepsilon_p/\varepsilon)^{\beta_\varepsilon}, \quad (1)$$

$$N=N_0(f_p/f)^{\beta_f}, \quad (2)$$

$$N=N_0(W_p/W)^{\beta_W}, \quad (3)$$

где ε_p, f_p, W_p —значения параметров утомления при однократном нагружении, когда $N_0=1$;

ε, f, W—значения параметров утомления, при которых усталостная выносливость равна N циклов;

β_ε, β_f, β_w —коэффициент, характеризующий зависимость усталостной выносливости от значения параметров механического воздействия.

Для линейных зависимостей $N(\varepsilon, f, W)$ коэффициенты β_ε, β_f и β_w соответствующих уравнений постоянные.

Для кривых *1* и *2* (черт. 1) и кривых черт. 2 коэффициенты усталостной выносливости не постоянные и зависят от соответствующих параметров механического нагружения, то есть $\beta_\varepsilon(\varepsilon)$, $\beta_f(f)$ и $\beta_W(W)$. Это обусловлено нелинейностью зависимости $f(\varepsilon)$, возрастанием значимости химических факторов усталости с уменьшением механического воздействия, резким уменьшением разрушаемости материала в области небольших деформаций и ориентационным упрочнением резин при статическом растяжении.

С целью количественной характеристики разных факторов усталости применяют следующие уравнения:

$$N=(W_p/W)^{\beta_W}, \tag{4}$$

$$\beta_w=\beta_W^0\operatorname{cth}(\eta W/W_p)-\xi \lg W_p/W \tag{5}$$

При наличии не слишком большого статического растяжения

$$N=\left(\frac{W_p^*}{W}\right)^{\beta_W+\,z th(\varepsilon_{ст}/\alpha)\lg W_p^*/W} \tag{6}$$

В уравнениях (4)—(6): β_W^0—начальный коэффициент усталостной выносливости; η—коэффициент разрушаемости материала, характеризующий вырождение разрушаемости или наступление условного предела усталости: ξ—коэффициент, характеризующий химические факторы усталости; z—коэффициент ориентационного упрочнения; α—кинетический коэффициент; W_p^*—работа разрушения на участке нагружения резины от $\varepsilon_{ср}$ до ε_p.

Для характеристики усталостных свойств резины рекомендуется значения N определять в диапазоне от 10^2 до $5\cdot10^6$ циклов.

Коэффициенты β_W^0, η, ξ и z определяются из экспериментальных значений коэффициентов $\beta_W=\dfrac{\lg N}{\lg W_p-\lg W}$ Коэффициент β_W^0 следует определять при значениях N в пределах от 1 до 10^4 циклов, коэффициент $\eta\approx2\ W_p/W$, где W_η —значение W, при котором кривые $\lg N$—$\lg W$ отклоняются от прямой, коэффициент $\xi=\dfrac{\beta_W^0}{\lg W_p/W}-\dfrac{\lg N}{\lg^2(W_p/W)}$

Коэффициент z находится с помощью соотношения (5).

Поскольку кривые усталостной выносливости или усталостной прочности не параллельны друг другу (см. черт. 1 и 2), то сравнение резин по усталостной выносливости или усталостной прочности должно производиться при напряжениях и деформациях, соответствующих работе резины в изделиях.

Усталостную выносливость при малых значениях механических параметров можно найти экстраполяцией зависимостей $\lg N$—($\lg\varepsilon$, $\lg f$, $\lg W$), при этом диапазон экстраполяции не должен превышать одного-полутора десятичных порядков значений N.

При экстраполяции усталостной выносливости в область больших значений механических параметров ($K\lg N=0$) диапазон экстраполяции увеличивается до двух-трех десятичных порядков.

Испытания резин на усталостную выносливость в большинстве случаев проводятся в режиме заданных смещений или деформаций образца. Однако в изделиях часто реализуются режимы заданных напряжений или энергий. Если у сравниваемых резин величины динамического модуля различны, то при одинаковых деформациях у более жестких резин значения f и W будут больше, а усталостная выносливость будет различна для разных режимов утомления.

Для построения зависимостей $N(f)$ или $N(W)$ необходимо экспериментально получить зависимости $f(\varepsilon)$ и $W(\varepsilon)$. Если зависимости $N(f)$ и $N(W)$ для разных резин известны, то проводят линии $f=\text{const}$ и $W=\text{const}$ и находят соответствующие значения для сравниваемых резин.

2. Влияние частоты деформации

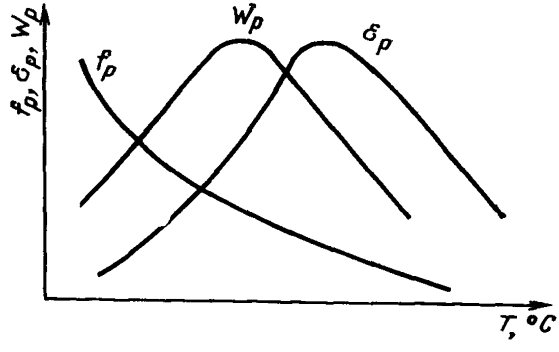
Экспериментально установлено, что изменение частоты от 0,1 до 50 Гц существенно не влияет на величину усталостной выносливости, определяемой при одинаковых фактических значениях ε, f и W и одинаковой температуре.

Вследствие этого время до разрушения образца уменьшается с увеличением частоты нагружения.

Если испытания проводятся не при постоянной температуре, а в условиях саморазогрева массивных образцов, то с повышением частоты происходит возрастание температуры в испытываемом образце. Это вызывает снижение усталостной прочности и выносливости.

3. Влияние температуры

С повышением температуры усталостная прочность и усталостная выносливость меняются сложным образом. Зависимость показателей усталостной прочности f_p, ε_p и W_p от температуры в области до начала стеклования имеют вид, представленный на черт. 3.



Черт. 3

На черт. 3 видно, что при утомлении в режиме $f=\text{const}$ усталостная прочность и выносливость будут снижаться с повышением температуры. Для режимов $\varepsilon=\text{const}$ и $W=\text{const}$ есть области температур, где усталостные деформация, энергия и выносливость могут возрастать с повышением температуры.

Как показывают экспериментальные данные, коэффициенты усталостной выносливости, если в процессе утомления не происходит существенного химического перерождения (старения) материала, практически не зависят от температуры. Этот факт может быть использован для прогнозирования усталостной выносливости на разные температурные условия.

Если в ходе утомления при повышенных температурах происходит заметное старение материала, то коэффициенты усталостной выносливости снижаются.

4. Влияние состава резин на усталостную выносливость

Влияние состава резин на их усталостные свойства может быть выявлено путем анализа законов усталостной выносливости (1)—(6). При сравнении резин при одинаковой интенсивности механического воздействия, то есть когда W_p/W, f_p/f и $\varepsilon_p/\varepsilon$ постоянные, характеристикой усталостных свойств резин являются коэффициенты уравнений усталостной выносливости.

Для химически нестойких эластомеров к действию кислорода воздуха коэффициент уравнений (4) уменьшается с уменьшением интенсивности механического воздействия. Некоторые ненаполненные резины и наполненные на основе бутил-каучука, бутадиенового и др. показывают увеличение коэффициента усталостной выносливости при уменьшении деформаций из-за наличия условного предела усталости.

Наполнение малопрочных резин техническим углеродом вызывает снижение коэффициента β_W^0 и увеличение коэффициента η. Для высокопрочных эластомеров коэффициенты усталостной выносливости с увеличением наполнения мало меняются или могут несколько возрастать.

Коэффициент z с увеличением степени наполнения возрастает. Введение в резину противоутомителей и антиоксидантов снижает величину коэффициента ξ и увеличивает коэффициенты β_ε, β_f, β_W.

Увеличение густоты вулканизационной сетки и содержания мягчителей в определенных пределах не существенно меняет коэффициенты усталостной выносливости.

Для однородных резин на основе комбинации разных эластомеров коэффициенты усталостной выносливости и усталостной прочности являются практически аддитивными функциями коэффициентов одноэластомерных резин.

Редактор *Р. С. Федорова*
Технический редактор *В. И. Тушева*
Корректор *В. И. Кануркина*

Сдано в наб. 14.01.85 Подп. в печ. 13.03.85 1,5 усл. п. л. 1,5 усл. кр.-отт. 1,28 уч.-изд. л.
Тир. 12000 Цена 5 коп.

gost.e-ecolog.ru

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,
Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 152