

2. Горелик Б.М. Применение резины в современном машиностроении. - К ин. Резина - конструкционный материал современного машиностроения. «Химия», М., 1987г.
3. Потураев В.Н. Резиновые и резино-металлические детали машин. «Машиностроение», М., 1966г.

УДК 539.422.24

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЯХ

А.А. АГИЕВИЧ, Е.С. АПЕНКИН

Научный руководитель – доцент, к.т.н. Д.Н. КОЛОСКО

При действии нагрузок циклически изменяющихся во времени в стали накапливаются повреждения, ведущие к разрушению конструкции. Под влиянием нагрузок циклически изменяющихся во времени происходит накопление пластических деформаций, которые ведут к исчерпанию запаса пластичности, росту усталостной трещины и разрушению стали.

Для расчетов деталей на долговечность и прочность строится усталостная кривая, которая показывает зависимость нормальных напряжений σ от числа циклов до разрушения N . Впервые такая диаграмма была построена немецким инженером Вёлером. И хотя сам инженер не пользовался этой диаграммой, ее назвали его именем, тем самым обозначив его вклад (рисунок 1). Диаграмма строится по результатам лабораторных испытаний серии образцов. Для построения одной кривой испытываются не менее 10 образцов, каждая точка на диаграмме соответствует испытанию до разрушения одного образца. Образец испытывается при циклической нагрузке с постоянной величиной максимального напряжения. На графике по экспериментальным точкам проводится усредняющая кривая. При некотором значении σ долговечность (число циклов до разрушения) стремится в бесконечность [1].

На практике усталостную кривую строят в логарифмических координатах $\lg\sigma - \lg N$, в которых кривая аппроксимируется двумя отрезками прямой линии. Наклонной прямой, соответствующей так

называемой ограниченной выносливостью образцов, и горизонтальной прямой, соответствующей пределу выносливости [2].

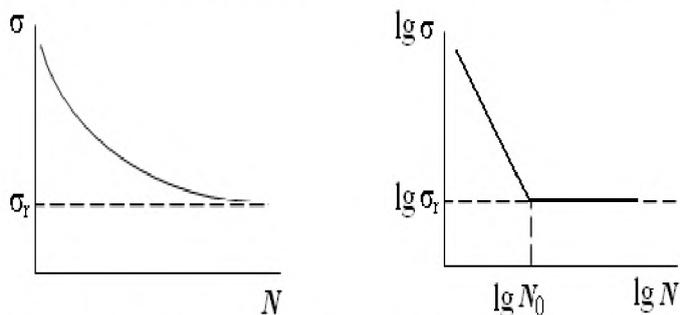


Рисунок 1 – Усталостная кривая в основных и логарифмических координатных осях

Образец нагружается изгибом при вращении. Нагрузка на образец – постоянная. Для первого образца устанавливается нагрузка, создающая в образце напряжения $\max \sigma = (\sigma_e + \sigma_r)$. Образец испытывается до разрушения и записывается число циклов до разрушения. Для второго образца нагрузка снижается, образец испытывается до разрушения.

Пределом выносливости σ_r считается максимальное напряжение, при котором образец без разрушения выдерживает базовое число циклов нагружения N_0 . При приближенном построении усталостной кривой принимают $N_0 = (1-3) \cdot 10^6$ циклов для черных металлов (сталей и чугуна).

Для определения значения предела выносливости под действием переменных напряжений в случае чистого изгиба при вращении были проведены испытания нескольких серий стандартных образцов. Полученные опытные данные для серии из 10 образцов диаметром 9,5 мм, обработанные в математическом пакете Mathcad, представлены на рисунке 2.

Относительно большой разброс экспериментальных точек вызывает необходимость подвергать результаты испытаний на усталостную прочность статистической обработке, обычно по методу линейной регрессии. Коэффициенты аппроксимирующей прямой в MathCAD определяются с помощью встроенной функции line методом наименьших квадратов или функции medfit методом медианной регрессии (рисунок 3).

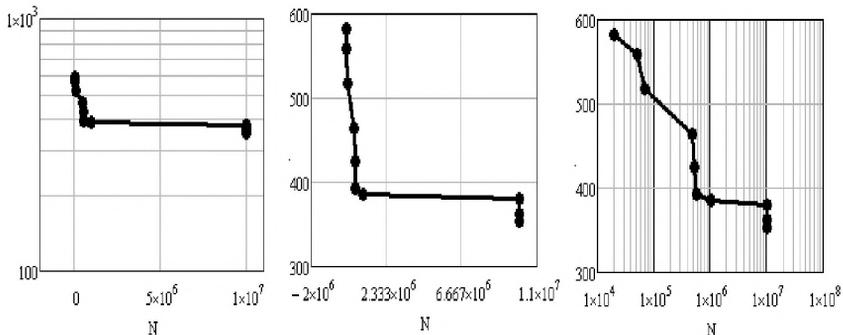


Рисунок 2 – Экспериментальная усталостная кривая в осях:
 а) $\sigma - N$; б) полулогарифмических; в) логарифмических

Подбор аппроксимирующего уравнения в логарифмических координатах

методом наименьших квадратов $aa := \text{line}(X, Y)$ $aa = \begin{pmatrix} 3.078 \\ -0.076 \end{pmatrix}$ $y := aa_1 + aa_2 \cdot X$

методом медианной регрессии $aa := \text{medfit}(X, Y)$ $aa = \begin{pmatrix} 3.079 \\ -0.073 \end{pmatrix}$

коэффициент корреляции $\text{corr}(X, Y) = -0.942$

коэффициент ковариации $\text{cvar}(X, Y) = -0.067$

среднее квадратичное отклонение $\text{stdev}(X) = 0.937$

по Стьюденту квантиль вероятности $t := \text{qt}(0.99, n)$ $t = 2.764$

$$s := \text{stdev}(X) \cdot \sqrt{1 - \text{corr}(X, Y)^2}$$

$s = 0.313$

верхняя и нижняя границы доверительного интервала $y1 := aa_1 + aa_2 \cdot (X + t \cdot s)$

$y2 := aa_1 + aa_2 \cdot (X - t \cdot s)$

$x := 0, 0.1 .. 7$

Рисунок 3 – Окно программы. Статистическая обработка экспериментальных данных для серии из 10 образцов диаметром 9,5 мм

Полученные в результате обработки экспериментальных данных в математическом пакете Mathcad значение коэффициентов аппроксимирующего уравнения методом наименьших квадратов и методом медианной регрессии представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты обработки экспериментальных данных

№ серии образцов	Коэффициенты аппроксимирующего уравнения $y = a_0 + a_1 \cdot X$				Коэффициент корреляции	Коэффициент ковариации
	Метод наименьших квадратов		Метод медианной регрессии			
	a_0	a_1	a_0	a_1		
	диаметр 6 мм					
1	3,075	-0,075	3,078	-0,073	-0,949	-0,065
2	3,045	-0,079	3,056	-0,078	-0,954	-0,068
3	3,082	-0,099	3,053	-0,091	-0,947	-0,092
4	3,042	-0,108	3,009	-0,099	-0,961	-0,1
	диаметр 7,5 мм					
1	3,119	-0,075	3,124	-0,072	-0,943	-0,066
2	3,07	-0,074	3,072	-0,071	-0,95	-0,065
3	3,099	-0,099	3,083	-0,094	-0,964	-0,096
4	3,005	-0,1	2,974	-0,092	-0,966	-0,098
	диаметр 9,5 мм					
1	3,078	-0,076	3,079	-0,073	-0,942	-0,067
2	3,089	-0,099	3,07	-0,093	-0,959	-0,096
3	3,033	-0,076	3,036	-0,073	-0,941	-0,066
4	3,002	-0,097	2,979	-0,093	-0,96	-0,096

Использование функций `corr` и `cov` дают возможность определить коэффициенты корреляции и ковариации, позволяющие оценивать статистическую взаимосвязь случайных величин и меру линейной зависимости двух случайных величин соответственно. Отрицательные значения коэффициентов означают, что при возрастании одной величины, значения другой убывают.

1. Александров А.В. Сопротивление материалов: Учебное пособие. М.: Высш.шк., 1995.