

УДК 620:178.3
DOI 10.47049/2226-1893-2021-1-149-156

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ НАКЛОННОГО УЧАСТКА КРИВОЙ УСТАЛОСТИ

В.В. Галевский

ст. преподаватель кафедры «Машиноведение»

Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина

Аннотация. В статье рассмотрена задача, связанная с ускоренным определением предела выносливости стальных объектов.

Предложено для её решения использовать наклонный участок кривой усталости в логарифмических координатах, построенный по классической методике согласно степенному уравнению. При этом предел выносливости предлагается находить по параметрам уравнения кривой усталости, выраженной уравнением Вейбулла, получаемым пересчётом.

Экспериментальная проверка предложенного подхода на гладких и надрезанных образцах, изготовленных из стали 45, показала, что погрешности предложенного метода находятся в допустимых пределах.

Ключевые слова: ускоренные испытания, предел выносливости, параметры наклонного участка.

УДК 620:178.3
DOI 10.47049/2226-1893-2021-1-149-156

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖИ ВИТРИВАЛОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ПОХИЛОЇ ДІЛЯНКИ КРИВОЇ ВТОМИ

В.В. Галевський

ст. викладач кафедри «Машинознавство»

Одеський національний морський університет, Україна, Одеса

Анотація. У статті розглянута задача, пов'язана з прискореним визначенням межі витривалості сталевих об'єктів.

Запропоновано для її вирішення використовувати похилу ділянку кривої втоми в логарифмічних координатах, побудовану за класичною методикою згідно до степеневого рівняння. При цьому межю витривалості пропонується знаходити за параметрами рівняння кривої втоми, вираженої рівнянням Вейбула, що одержується перерахунком.

Експериментальна перевірка запропонованого підходу на гладких і надрізаних зразках, виготовлених зі сталі 45, показала, що похибки запропонованого методу знаходяться в допустимих межах.

Ключові слова: прискорені випробування, межа витривалості, параметри похилої ділянки.

© Галевский В.В., 2021

UDC 620:178.3

DOI 10.47049/2226-1893-2021-1-149-156

**DETERMINATION OF THE ENDURANCE LIMIT OF PARTS BY THE
PARAMETERS OF THE INCLINED SECTION OF THE FATIGUE CURVE**

V.V. Halevskiy

Senior Lecturer of the Department «Machine Science»

Odessa National Maritime University, Ukraine, Odessa

Abstract. *The article deals with the problem associated with the accelerated determination of the endurance limit of steel objects.*

It is proposed to use the sloped section of the fatigue curve in logarithmic coordinates to solve this problem, constructed according to the classical technique according to the power equation. In this case, the endurance limit is proposed to be found by the parameters of the fatigue curve equation, expressed by the Weibull equation, obtained by recalculation.

Experimental verification of the proposed approach on smooth and notched specimens made of steel 45 showed that the errors of the proposed method are within acceptable limits.

Keywords: *accelerated tests, endurance limit, parameters of an inclined section.*

Введение. Целью большинства методов ускоренных испытаний на сопротивление усталости является оценка предела выносливости. Среди них существует ряд методов, основанных на использовании корреляционных связей между параметрами наклонного участка кривой усталости и пределом выносливости [1]. При этом база, на которой он определяется, составляет, как правило, 10^7 циклов. Исключением являются методы, в основе которых лежит уравнение Вейбулла. Между тем известно, что пределы выносливости некоторых объектов (например, деталей крупных размеров, соединений с гарантированным натягом и др.) определяются на базах, превышающих указанную. Данный факт привёл к появлению методов, основанных на использовании составных кривых усталости [2]. В отличие от них рассматриваемый в статье подход не предполагает построение составной кривой усталости, а основан на пересчёте параметров степенного уравнения в параметры уравнения Вейбулла.

Целью статьи является разработка ускоренного метода определения предела выносливости, основанного на пересчёте параметров степенного уравнения в параметры уравнения Вейбулла.

Изложение основного материала. Степенное уравнение кривой усталости и уравнение Вейбулла представим в виде

$$\sigma^{m_C} N = 10^{C_C}, \quad (1)$$

$$(\sigma - \sigma_R)^{m_W} N = 10^{C_W}, \quad (2)$$

где σ и N – текущие напряжение и число циклов до разрушения соответственно; σ_R – предел выносливости; m_C , C_C , m_W и C_W – параметры.

Для пересчёта параметров m_C , C_C , в параметры m_W и C_W , воспользуемся их корреляционными зависимостями с пределом выносливости [1]

$$m_C = f_C(\sigma_R) = 0,027\sigma_R + 1,4; \quad (3)$$

$$C_C = F_C(\sigma_R) = 0,997(m_C + 1)\lg \sigma_R + 4,0; \quad (4)$$

$$m_W = f_W(\sigma_R) = \frac{1}{5,254\sigma_R^{0,01} - 5,038} - 1,0; \quad (5)$$

$$C_W = F_W(\sigma_R) = \lg \frac{(7,029\sigma_R + 3599)^{m_W + 1}}{m_W + 1}. \quad (6)$$

Найденные по зависимостям (3)-(6) значения параметров m_C , C_C , m_W и C_W для пределов выносливости $\sigma_R = 100$ –, 500 МПа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчётные значения параметров m_C , C_C , m_W и C_W

σ_R , МПа	100	200	300	400	500
m_C	4,1	6,8	9,5	12,2	14,9
C_C	14,17	21,89	29,93	38,24	46,78
m_W	1,16	0,99	0,91	0,85	0,81
C_W	7,50	7,07	6,88	6,78	6,71

Используя данные табл. 1, построим графики зависимости m_W (m_C) и C_W (C_C) (рис. 1, 2).

Уравнения аппроксимирующих прямых, полученных по методу наименьших квадратов, имеют вид

$$m_W = 1,238 - 0,031m_C. \quad (7)$$

$$C_W = 7,681 - 0,022C_C. \quad (8)$$

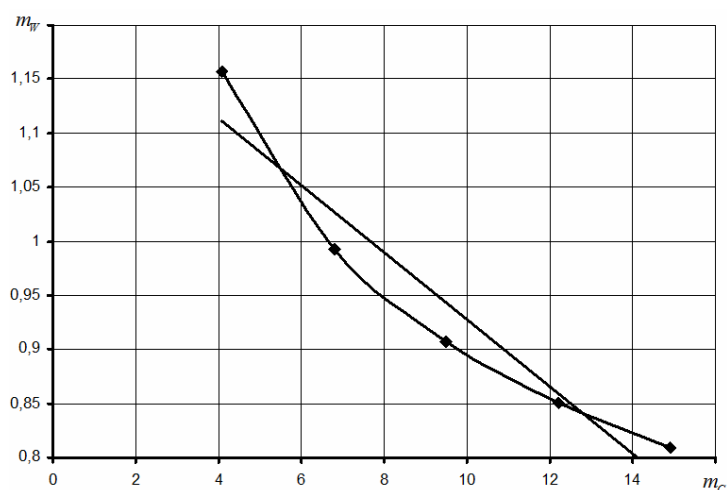


Рис. 1. Зависимость m_w (m_c)

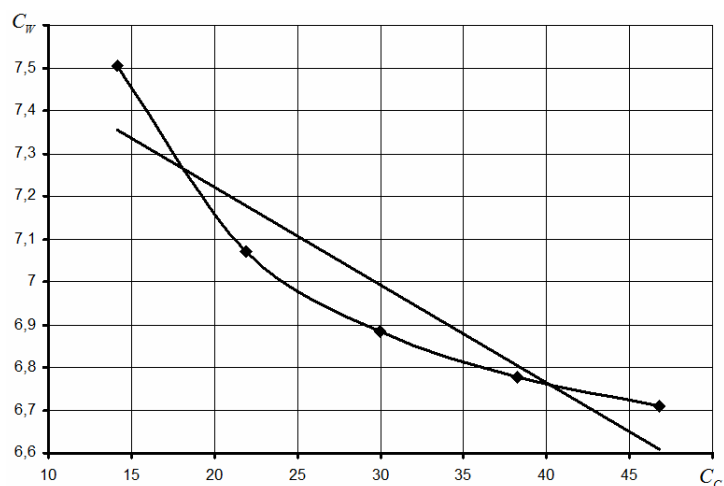


Рис. 2. Зависимость C_w (C_c)

Коэффициенты корреляции R^2 величин m_w и m_c , а также C_w и C_c в уравнениях (7) и (8) соответственно составили 0,92 и 0,86, что свидетельствует о тесной связи между этими параметрами.

Для экспериментальной проверки полученных зависимостей обратимся к результатам испытаний лабораторных образцов из стали 45 (гладких и надрезанных) при регулярной нагрузке, которые приведены в работе [3] (табл. 2). Форма образцов и их геометрические параметры представлены на рис. 3. и в табл. 2.

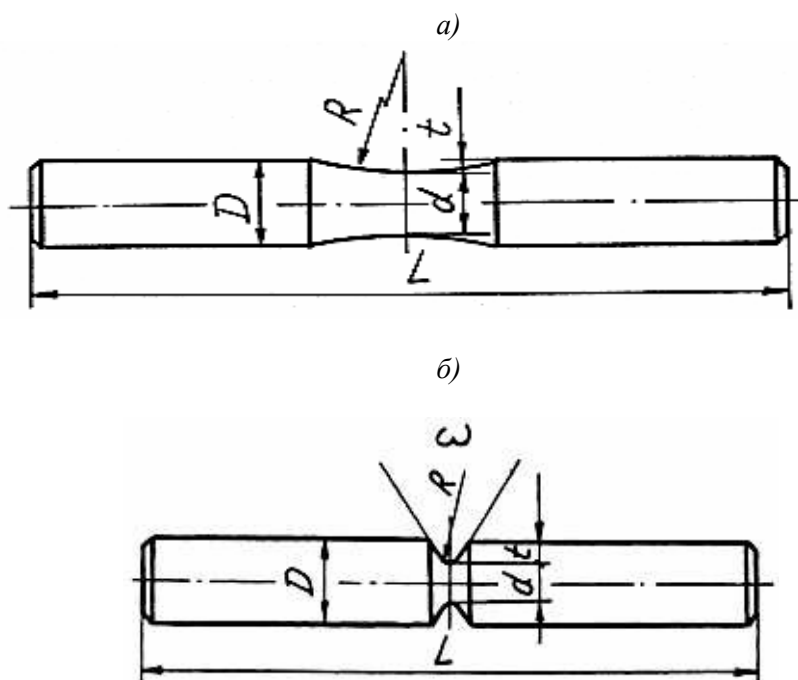


Рис. 3. Конструкції образцов:
а – гладкий образец; б – образец с надрезом

Таблица 2

Размеры гладких и надрезанных образцов

Тип образца	Форма рабочей части	Размеры, мм					ω
		L	D	d	t	R	
I	гладкий	226	12	10	1,0	50,0	-
II	с надрезом	226	12	10	1,0	2,0	-

В результате обработки данных таблицы 3 по методу наименьших квадратов параметры m_c и C_c для гладких образцов составили 18,18 и 50,04, а для надрезанных 15,97 и 37,01 соответственно. Пределы выносливости, найденные с помощью метода «вверх – вниз», оказались равными 250 МПа (для гладких образцов), и 204,0 МПа (для надрезанных образцов).

Таблица 3

Результаты испытаний гладких лабораторных образцов из стали 45 при стационарной нагрузке [3]

Номер п/п	σ , МПа	$\lg \sigma$	N , цикл	$\lg N$
1	300	2,477	72200	4,859
2			86200	4,936
3			98300	4,993
4			113300	5,054
5			199200	5,299
6	285	2,455	205800	5,316
7			206800	5,316
8			299100	5,476
9			308900	5,490
10			394400	5,596
11	270	2,431	336600	5,527
12			362400	5,559
13			547100	5,738
14			602600	5,780
15			703600	5,847

Параметры m_w и C_w , найденные по формулам (7) и (8) составили для гладких образцов 0,73 и 6,68, а для надрезанных 0,83 и 6,87.

Результаты ускоренных испытаний этих же образцов при скоростях увеличения нагрузки $\alpha = 100$ Па/цикл и $\alpha = 200$ Па/цикл приведены в табл. 4 и 5.

По данным таблиц 4 и 5 определены значения пределов выносливости σ_{Ri}^{VC} и $\bar{\sigma}_R^{VC}$ по формулам

$$\sigma_{Ri}^{VC} = \sigma_P - \left[\alpha (m_w + 1) \cdot 10^{C_w} \right]^{\frac{1}{m_w + 1}}; \quad (9)$$

$$\bar{\sigma}_R^{VC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{Ri}^{VC}. \quad (10)$$

В результате расчёта погрешности ускоренного определения предела выносливости для гладких образцов составили – 0,78 % (при $\alpha = 100$ Па/цикл) и 6,33 % (при $\alpha = 200$ Па/цикл). Для надрезанных – 0,61 % (при $\alpha = 100$ Па/цикл) и 4,27 % (при $\alpha = 200$ Па/цикл). Эти погрешности характеризуют общую ошибку метода и включают как систематическую, так и случайную составляющую. Их можно считать приемлемыми, поскольку они не превышают допустимых значений.

Таблица 4

Результаты ускоренных испытаний
гладких образцов и расчёта значений σ_R^{VC} и $\bar{\sigma}_R^{VC}$

Номер п/п	α , Па/цикл	σ_1 , МПа	σ_P , МПа	σ_{Ri}^{VC} , МПа	$\bar{\sigma}_R^{VC}$, МПа
1	100	240	293,5	244,9	250,6
2			294,1	245,5	
3			299,4	250,8	
4			300,8	252,2	
5			308,3	259,7	
6	200	225	296,9	224,4	233,2
7			307,3	234,8	
8			307,5	235,0	
9			308,2	235,7	
10			308,6	236,1	

Таблица 5

Результаты ускоренных испытаний образцов
с концентратором напряжений и расчёта значений σ_R^{VC} и $\bar{\sigma}_R^{VC}$

Номер п/п	α , Па/цикл	σ_1 , МПа	σ_P , МПа	σ_{Ri}^{VC} , МПа	$\bar{\sigma}_R^{VC}$, МПа
1	100	180	250,3	199,0	214,6
2			258,7	207,4	
3			270,8	219,5	
4			272,1	220,8	
5			277,8	226,5	
6	200	180	280,5	205,7	210,8
7			285,5	210,7	
8			286,2	211,4	
9			288,0	213,2	
10			288,0	213,2	

Выводы

1. Предложен новый способ пересчёта параметров степенного уравнения кривой усталости в параметры уравнения Вейбулла.
2. На основе этого способа разработан метод ускоренного определения предела выносливости стальных объектов.
3. Экспериментальная проверка метода показала, что его погрешность находится в допустимых пределах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олейник Н.В., Скляр С.П. Ускоренные испытания на усталость. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.
2. Олейник Н.В., Кобаков А.Г. Оперативная оценка сопротивления усталости материалов и деталей. – Одесса: Астропринт, 1998. – 142 с.
3. Олейник Н.В., Коноплев А.В., Кобаков А.Г. Методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости в практических приложениях. – Одесса: Астропринт, 2000. – 138 с.

REFERENCES

1. Oleinik, N.V., Sklyar, S.P. Uskorennie ispitaniya na ustalost' [Accelerated Fatigue Tests]. – K.: Naukova dumka (Scientific thought), 1985. – 304 l. [in Russian].
2. Oleinik, N.V., Kibakov, A.G. Operativnaya ocenka soprotivleniya ustalosti materialov i detalei [Rapid assessment of fatigue resistance of materials and parts]. – Odessa: Astroprint, 1998. – 142 l.
3. Oleinik, N.V., Konoplev, A.V., Kibakov, A.G. Metodi uskorenogo opredeleniya harakteristik soprotivleniya ustalosti v prakticheskikh prilozheniyah [Methods of accelerated determination of fatigue resistance characteristics in practical applications]. – Odessa: Astroprint, 2000. – 138 l.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2021

Посилання на статтю: Галевский В.В. Определение предела выносливости деталей по параметрам наклонного участка кривой усталости // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2021. № 1 (64). С. 149-156. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-1-149-156.

Article received 26.03.2021

Reference a JournalArtic: Halevskiy V.V. Determination of the endurance limit of parts by the parameters of the inclined section of the fatigue curve // Herald of the Odessa National Maritime University. 2021. 1(64), 149-156. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-1-149-156.