

УДК 589.385

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.190>

**С. ЖУНИСБЕКОВ\*, С. Ж. ЖАШЕН, Д. К. ДЖАКИЯЕВ, Б. Д. ДЖАКИЯЕВ**

*Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати*

### **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТРЕНИРОВКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ**

*Экспериментально установлено влияние тренировки образцов сталей 45 при циклическом нагружении ниже предела выносливости на циклические долговечности при некоторых сложных режимах нагружения, причем предложен способ учета такой тренировки в энергетическом уравнении поврежденных, для которого построен соответствующий функциональный параметр.*

**Ключевые слова:** *циклическое нагружение, долговечность, сложное циклическое напряженное состояние, энергетическая модель многоциклового усталости.*

Тренировкой называется повышение сопротивления усталости в результате предварительного циклического нагружения ниже предела выносливости. Исследованию влияния тренировки посвящен целый ряд работ [1–4] и др. Результаты большинства из них указывают на то, что предварительное циклическое нагружение ниже предела выносливости увеличивает циклическую долговечность многих сталей на более высоких уровнях напряжений. В работе [3] указывается, что существует критическое напряжение недогрузки, отделяющее область напряжений, совершенно не влияющих на сопротивление усталости, от напряжений, при которых недогрузки повышают предел выносливости. На диаграмме, представленной на рисунке 1, имеется две области, первая из которых не оказывает влияние на сопротивление усталости, а вторая упрочняет материал.

Г.Г. Попов [6] отмечает, что максимальный эффект дает тренировка при напряжениях, близких к пределу выносливости, если напряжения ниже  $(0,8 \div 0,9) \sigma_{-1}$ , то тренировка оказывается безрезультатной. Маринец Т.К. [5] исследовал влияние тренировки в условиях сверхдлительных испытаний. Из его опытов следует, что с увеличением числа циклов предварительного нагружения эффект тренировки увеличивается, пока это число не достигнет 25 млн. Для сталей 20 и 25 25 млн циклов обеспечивает максимальную величину сопротивления усталости, а дальнейшее повышение этого числа до 1500 млн циклов оказались безрезультативными. В работе [1] имеются данные (табл. 1) для образцов стали с содержанием 0,015% С, с пределом прочности  $\sigma_{\text{пч}} = 310$  МПа

---

\* E-mail корреспондирующего автора: tar-ti@mail.ru

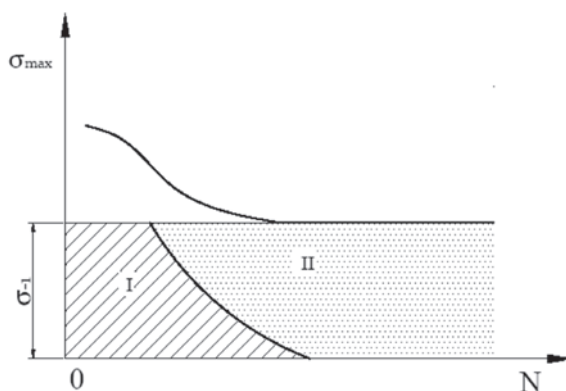


Рисунок 1 – Области упрочнения на диаграмме выносливости

и выносливости  $\sigma_{-1} = 183$  МПа), а также свидетельствующие об увеличении предела выносливости в зависимости от числа циклов предварительного нагружения.

Таблица 1

Число циклов повторения недогрузки при напряжении 140 МПа	$0,5 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$
Увеличение предела выносливости в %	6,1	6,1	6,9	8,0	19,0	23

Нужно отметить, что вышеупомянутые испытания проводились в условиях линейного напряженного состояния. С целью определения эффекта тренировки в испытуемых сталях в условиях сложного напряженного состояния и при напряжениях, составляющих  $(0,8 \div 0,9) \sigma_{-1}$ , нами проводились испытания на установке, описанной в работе [7], а опыты при линейном напряженном состоянии проводились на пульсаторе фирмы Лозенгаузен. При проведении опытов использовались трубчатые и цилиндрические образцы. Экспериментальные кривые усталости и диаграммы предельных амплитуд для  $R = -1$  и  $R = -0,1$ , отвечающие образцам, прошедшим предварительную тренировку, представлены на рисунке 2 и приведены в работе [8]. Для сравнения на том же рисунке нанесены кривые усталости для того же материала без тренировки. Результаты опытов свидетельствуют, что тренировка в течение  $10 \cdot 10^6$  циклов увеличивала число циклов до разрушения примерно на  $20 \div 30$  % по сравнению с образцами, не прошедшими такой тренировки.

Для учета эффекта «тренировки металлов» в энергетическом уравнении поврежденный, разработанном в Санкт-Петербургском политехническом университете (СПбПУ) Петра Великого [8], с использованием кривых усталостей и диаграмм предельных амплитуд, может быть построена серия усталостных кривых для разных коэффициентов  $R$  с учетом тренировки. Для определения функции удельной необратимой работы деформирования  $\varphi(k, R)$  находили параметр

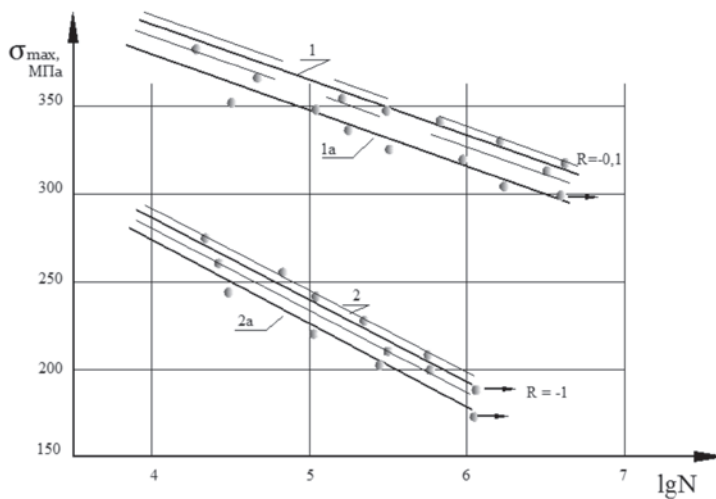


Рисунок 2 – Кривые усталости для стали 45

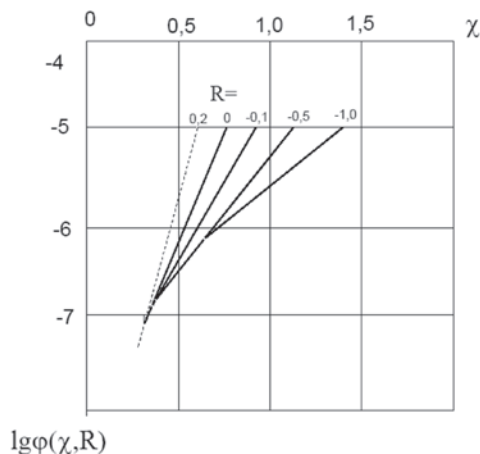


Рисунок 3 – Функция удельной работы деформирования для стали 45

$$\kappa_{\kappa} = 2 \left( \frac{\sigma_a^{(\kappa)}}{C_2} - 1 \right). \tag{1}$$

Величина  $C_2$  в этой зависимости является экспериментальной постоянной материала, соответствующей его предполагаемому абсолютному пределу выносливости. Эта величина принята равной 90 МПа для стали 10 и 135 МПа для стали 45. Функция  $\varphi(\kappa, R)$  определяется по формуле [8]

$$\varphi(\kappa, R) = \left( 1 - \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_p} \right) \frac{1}{N_p} \tag{1}$$

где  $\sigma_p$  – истинное сопротивление разрыву (680 МПа для стали 10 и 1430 МПа для стали 45). Значения  $\sigma_{\max}$  и  $N_p$  снимались с соответствующих усталостных кривых (рис. 2). На графике (рис. 3) отложены по вертикали в логарифмическом масштабе значения  $\varphi(k, R)$  и по оси абсцисс – значения величин  $N_k$ .

Таким образом, использование графиков функции  $\varphi(k, R)$ , построенные с учетом тренировки при  $\sigma_{\max} = (0,8 \div 0,9)\sigma_{-1}$  позволяет существенно улучшить прогноз разрушающего числа циклов при нестационарном режиме нагружения, включающем такие ступени, на которых максимальное за период цикла напряжение составило  $(0,6 \div 0,9)\sigma_{-1}$ . (т.е. была несколько ниже или того же порядка, что и  $C_2$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1 Расчеты на прочность в машиностроении / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман, К.К. Лихарев и др. ; Под ред. С.Д. Пономарева. – М.: Машгиз, 1959, т. 3. – 1118 с .

2 Ужик Г.В. Методы испытаний металлов и деталей машин на выносливость. –М., Изд-во АН СССР, 1948, – 264 с., ил.

3 Шашин М.Я. Влияние циклических перегрузок и недогрузок на усталость металлов. – Журнал технической физики, 1951, т. XXI, вып. 10, с. 1184-1193.

4 Гольцев Д.И. О приближенной оценке предела выносливости циклически тренированных материалов. – В кн. : Вопросы динамики и динамической прочности. Рига. : Изд-во АН Латвийской ССР, вып.3, 1955.

5 Маринец Т.К. Тренировка в условиях сверхдлительных испытаний. – Тр. Ленингр. Политехн. Ин-та, 1955, № 182, с.141-145.

6 Попов Г.Г. Испытание стали на выносливость с предварительными циклическими перегрузками. В кн. : Вопросы прочности материалов и конструкции, М., изв. АН СССР, 1959, с. 14-35.

7 Павлов П.А., Шерстнев В.А., Касымов У.Т., Жашенов С.Д., Гидропульсационная машина двухстороннего действия. - Информ. листок, ЛенЦНТИ, Л., 1982, № 708-82

8 Жашен С. Ж., Джакияев Д.К., Жунибеков С., Исследование многоциклового усталости элементов оборудования и машин при сложном напряженном состоянии и нестационарном нагружении. Международный научно-технический журнал. Вестник НИА РК №3( 77), Алматы, 2020. – с. 11-17

## REFERENCES

1 Raschety na prochnost v mashinostroyenii / S.D. Ponomarev. V.L. Biderman. K.K. Likharev i dr. ; Pod red. S.D. Ponomareva. – M.: Mashgiz. 1959. t. 3. – 1118 s .

2 Uzhik G.V. Metody ispytaniy metallov i detaley mashin na vynoslivost. – M.. Izd-vo AN SSSR. 1948. – 264 s.. il.

3 Shashin M.Ya. Vliyaniye tsiklicheskiykh peregruzok i nedogruzok na ustalost metallov. – Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. 1951. t. XXI. vyp. 10. s. 1184-1193.

4 Goltsev D.I. O priblizhennoy otsenke predela vynoslivosti tsiklicheski trenirovannykh materialov. – V kn. : Voprosy dinamiki i dinamicheskoy prochnosti. Riga. : Izd-vo AN Latviyskoy SSR. vyp.3. 1955.

5 Marinets T.K. Trenirovka v usloviyakh sverkhdlitelnykh ispytaniy. – Tr. Leningr. Politekhn. In-ta. 1955. № 182. s.141-145.

6 Popov G.G. Ispytaniye stali na vynoslivost s predvaritelnyimi tsiklicheskiymi peregruzkami. V kn.: Voprosy prochnosti materialov i konstruktsii. M... izv. AN SSSR. 1959. s. 14-35.

7 Pavlov P.A., Sherstnev V.A., Kasymov U.T., Zhashenov S.D. Gidropulsatsionnaya mashina dvukhstoronnego deystviya. - Inform. listok. LenTsNTI. L.. 1982. № 708-82

8 Zhashen S. Zh., Dzhakiyayev D.K., Zhunisbekov S. Issledovaniye mnogotsiklovoy ustalosti elementov oborudovaniya i mashin pri slozhnom napryazhennom sostoyanii i nestatsionarnom nagruzhении. Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnicheskii zhurnal. Vestnik NIA RK №3( 77). Almaty. 2020. – s. 11-17

**С. ЖҮНИСБЕКОВ, С. Ж. ЖАШЕН, Д. Қ. ЖАҚИЯЕВ, Б. Д. ЖАҚИЯЕВ**

*М. Х. Дулати атындағы Тараз аймақтық университеті*

### **МЕТАЛДАРДЫҢ ШАРШАУҒА ТӨЗІМДІЛІГІНЕ АЛДЫН АЛА ЖАТТЫҒУДЫҢ ӘСЕРІ**

*Болат үлгілерінің күрделі жүктеме режимдерінде алдын-ала төзімділік шегінен төмен циклдік жүктемелеу арқылы циклдік қажу беріктігінің жоғарылауы эксперименталды түрде анықталды және тиісті функционалды параметр тұрғызылып, осындай «алдын-ала жаттықтыруды» зақымданудың энергетикалық теңдеуінде есепке алу әдісі ұсынылды.*

*Түйін сөздер:* циклды жүктеме, төзімділік, күрделі циклды кернеулі күй, көп циклды қажу қирауының энергетикалық моделі.

**S. ZHUNISBEKOV, S. ZH. ZHASHEN, D. K. DZHAKIYAEV, B. D. DZHAKIYAEV**

*M.H.Dulati Taraz Regional University*

### **THE EFFECT OF PRE-TRAINING ON METAL FATIGUE RESISTANCE**

*The influence of training of samples of steel 45 under cyclic loading below the endurance limit on cyclic durability under some complex loading conditions was experimentally established, and a method was proposed for taking into account such training in the energy damage equation, for which the corresponding functional parameter was constructed.*

*Key words:* cyclic loading, durability, complex cyclic stress state, energy model of high-cycle fatigue.