

## 6. Висновок

Розглянутий у статті пристрій для механічної обробки кінців труб, конструкція якого спрямована на зрівноважування збурюючих джерел, які є першочерговими чинниками для виникнення вимушених коливань заготовки, дозволяє не тільки досягти більш якісної обробки але й підвищить надійність і довговічність роботи устаткування. За рахунок одночасної

обробки внутрішньої та зовнішньої поверхонь, коли ріжучі елементи обертаються в протилежні сторони відносно один-одного збільшить продуктивність праці та компенсує діючі крутні моменти на трубу, що в підсумку не потребує великого зусилля при її затиску у пристосуванні і дозволяє обробляти тонкостінні заготовки. Також знизить рівень шуму, вихідний від вібруючої заготовки, що негативно впливає на організм людини.

## Література

1. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 1994. – 400с.
2. Варава Л.М., Двоскин П.М. Резка труб и баллонов: Учебник для ПТУ. – М.: Металлургия, 1983. – 280с.
3. Жуков Э.Л., Козарь И.И., Мурашкин С.Л., Розовский Б.Я., Дегтярев В.В., Соловейчик А.М. Основы технологии машиностроения: учеб. пособ. для вузов. В 2 кн. Кн. 1. / Жуков Э.Л., Козарь И.И., Мурашкин С.Л. и др.: Под ред. С.Л. Мурашкина. – М.: Высш. шк., 2003. – 278с.
4. Остафьев В.А., Антонюк В.С., Тымчик Г.С. Диагностика процесса металлообработки. – К.: Техніка, 1991. – 152с.
5. Патент на корисну модель UA 49739 U. МПК В23В 5/08. Пристрій для обробки кінців труб / Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.В. Самчук. Заявл. 16.11.2009; Опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9. 2010р. – 3с.
6. Пуховский Е.С., Таврит Г.Э., Лещенко М.И. Безвибрационное многолезвийное резание. – К.: Техніка, 1982. – 114с.
7. Ю.І. Сичов, Б.Г. Лях, В.І. Неко, В.В. Самчук. Один з напрямків розробки безвібраційних обробних комплексів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический Центр. 2010. № 2/5 (44) с. 38-41.

*На підставі дислокаційних моделей отримані три аналітичні вирази кривих Велера. Проведено порівняння експериментальних і аналітичних кривих втоми сплавів на основі міді і ніхрома*

*Ключові слова: матеріали, криві втоми, дислокаційні моделі*

*На основе дислокационных моделей получены три аналитических выражения кривых Велера. Проведено сравнение экспериментальных и аналитических кривых усталости сплавов на основе меди и никрома*

*Ключевые слова: материалы, кривые усталости, дислокационные модели*

*Based on dislocations models obtained three analytical expressions Wehler's curves. Comparison the experimental and analytical fatigue curves materials on the base of cooper and Ni-Cr was made*

*Key words: materials, fatigue curves, dislocations models*

УДК 539.3

# АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРИВЫХ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**С.А. Фирстов**

Заместитель директора, академик НАНУ\*

Контактный тел.: (044) 424-35-01

E-mail sfirstov@mail.ru

**Ю.Ф. Луговской**

Старший научный сотрудник отдела №57\*

\*Институт проблем материаловедения

им. И.Н. Францевича НАН Украины

ул. Кржижановського, 3, г. Киев, 03140

Контактный тел.: (044) 390-11-26, 067-236-03-56

E-mail lugovskoi\_u@ukr.net

вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

## 1. Введение

Повышение характеристик сопротивления усталости материалов возможно на основе знания закономерностей влияния на них нескольких факторов, прежде всего размеров структурных элементов.

## 2. Обзор литературы и постановка задачи

Аналитические исследования усталости металлических материалов (или модели) можно разделить на два направления в зависимости от теоретической основы положенной в их основу. В [1] к первому на-

правлению отнесены работы, основанные на локальном подходе или механике трещины применительно к усталости локального объёма материала, а ко второму - работы, основанные на нелокальном подходе - рассеянному накоплению усталостных повреждений во всем объёме циклически деформируемого образца.

В рамках этих направлений известны модели, описывающие зависимость амплитуды приложенного напряжения  $\sigma_a$  от, обычно, одного из факторов, влияющих на эту величину, например, от циклической долговечности  $N$  или от параметра структуры (часто среднего размера зерна)  $D$  или температуры испытаний  $T$ . Так в [2] приводятся 36 эмпирических и полуэмпирических зависимостей  $\sigma_a - N$ , которые можно обобщить степенными (с разным показателем степени) или логарифмическими функциями, а именно

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon \cdot N^{0.5} &= e_p / 2 \text{ или } \sigma_a = b \cdot N^{-\alpha}, \\ \sigma_a &= A_1 + B \cdot \ln N, \quad \sigma_a = \sigma_0 + A \cdot \ln N, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Delta \varepsilon$  - размах деформации,  $e_p$  - относительное удлинение,  $b, A, A_1, B$  - постоянные, не имеющие четкого физического смысла,  $\sigma_0$  - физический предел выносливости. Но эти зависимости не связаны непосредственно с размером структурных элементов  $D$ . С другой стороны экспериментальные зависимости  $\sigma_a$  от  $D$  и других элементов структуры известны из литературы в виде уравнений типа Холла-Петча для усталости металлических материалов, например, [3]

$$\sigma_{-1} = \sigma_{0f} + K_f \cdot D^{-0.5}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{0f}$  и  $K_f$  - постоянные. Отметим, что в [4-6] представлены модели, содержащие несколько факторов или аргументов функции  $\sigma_a$ . Однако в них не в полной мере учтено влияние на усталость параметра структуры  $D$  одновременно с другими переменными. Частично это сделано в [4], но применительно не к  $\sigma_a$ , а к  $N$ .

В связи с этим актуальной является задача получения такой зависимости, которая бы была основана на физическом подходе, общем для металлических материалов, и которая бы содержала зависимость  $\sigma_a$  от  $D, N$  и  $T$  одновременно.

### 3. Аналитические зависимости кривых усталости

При решении этой задачи исходили из двух основных положений:

1). Скорость пластической деформации  $\dot{\varepsilon}$ , которая накапливается при статическом или циклическом нагружении за время деформирования  $\tau$  или числа циклов нагружения  $N$  может быть определена величиной накопленной пластической деформации (например, постоянной  $e_p$  в уравнении Коффина, Тавернелли  $\Delta \varepsilon N^{0.5} = e_p / 2$ ) или накопленной пластической деформацией за цикл нагружения  $\varepsilon_0$  с частотой нагружения  $f$  и определяется выражением

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon / \tau, \text{ где } \tau = N / f, \text{ или } \dot{\varepsilon} = K \cdot \varepsilon_0 \cdot f / N. \quad (3)$$

2). Зависимость (3) может быть описана на основании известных уравнений физики прочности и пластичности

$$\dot{\varepsilon} = 2\dot{\varepsilon}_0 \exp[-(U - v\sigma) / kT] - \text{Конрада [7]},$$

$$\dot{\varepsilon} = 2\dot{\varepsilon}_0 [-U / kT] \text{sh}(v\sigma / kT) - \text{Алефельда [8]}$$

и аналитической зависимости Трефилова и Мильмана [9]

$$\begin{aligned} B\dot{\varepsilon} \exp[U / kT] (v / kT)^2 &= \\ &= (v\sigma / kT) \text{ch}(v\sigma / kT) - \text{sh}(v\sigma / kT) \end{aligned} \quad (4)$$

где  $U$  - энергия активации движения дислокаций,  $v$  - активационный объём,  $T$  - температура испытаний в  $^{\circ}\text{K}$ ,  $k$  - постоянная Больцмана,  $\sigma$  - термическая компонента приложенного напряжения текучести,  $\dot{\varepsilon}$  - скорость деформирования,  $\dot{\varepsilon}_0$  и  $B$  - постоянные величины.

Упростив зависимость (4) её авторы получили три уравнения для термической компоненты предела текучести:

- 1)  $\sigma_{\text{терм}} = [U_0 - kT \ln(M_1 / \dot{\varepsilon})] / v$  для  $T < T_1 = 0,1 T_{\text{пл}}$
- 2)  $\sigma_{\text{терм}} = (3B\dot{\varepsilon} kT / v)^{1/3} \exp U_0 / 3kT$  для  $T > T_2 = 0,2 T_{\text{пл}}$
- 3)  $\sigma_{\text{терм}} = (3B_1 \dot{\varepsilon} kT / v)^{1/2} \exp U_0 / 2kT$ ,

когда плотность движущихся дислокаций не зависит от напряжения.

При подстановке в эти уравнения выражения  $\dot{\varepsilon} \sim \varepsilon_0 f / N$ , а также добавляя к ним атермическую составляющую амплитуды приложенного циклического напряжения -  $K_f D^{-1/2}$ , получим соответствующие аналитические зависимости для кривых усталости

$$1) \sigma_a = (kT \ln M_1^y) \ln f N_0 / N + [U_0 / v + K_f D^{-\alpha}], \quad (5)$$

$$2) \sigma_a = [(3B^y / v^y)^{1/3} \exp U_0^y / 3kT] (f N_0 / N)^{1/3} + K_f D^{-\alpha}, \quad (6)$$

$$3) \sigma_a = [(3B_1^y kT / v^y)^{1/2} \exp U_0^y / 2kT] (f N_0 / N)^{1/2} + K_f D^{-\alpha}, \quad (7)$$

где  $\alpha = 0,5$  или  $1$  [10].

При этом для каждого из приведенных уравнений первое слагаемое определяет наклон усталостной кривой в диапазоне  $N_0 < N$ , а второе - его ограниченный или физический предел выносливости при большом  $N$  -  $K_f D^{-\alpha}$  и  $T > T^*$ , где  $T^*$  - характеристическая температура ( $T^* \approx 0,2 T_{\text{пл}}$ ), при которой термически активируемое движение дислокаций близко к нулю.

### 4. Проверка адекватности аналитических уравнений экспериментальным зависимостям Велера

Проверка этих уравнений на соответствие экспериментальным кривым усталости для 16 сплавов на основе меди и никрома (при условии, что величина  $K_f D^{-1/2}$  известна из эксперимента) показала, что в большинстве случаев экспериментальные зависимости описываются уравнением (7) - рис. 1. Данный результат соответствует описанию кривых усталости в работах Коффина-Тавернелли  $\Delta \varepsilon N^{0.5} = e_p / 2$ , В.С. Ивановой [3] и Т.Ю. Яковлевой [6], которые были получены на основании других моделей (накопления предельной

пластической деформации, теплоты плавления и локальной пластической деформации, соответственно). В тоже время стали и высокопрочные алюминиевые сплавы, лучше описываются зависимостью (6), то есть логарифмической функцией  $\sigma_a$  от  $N$ .

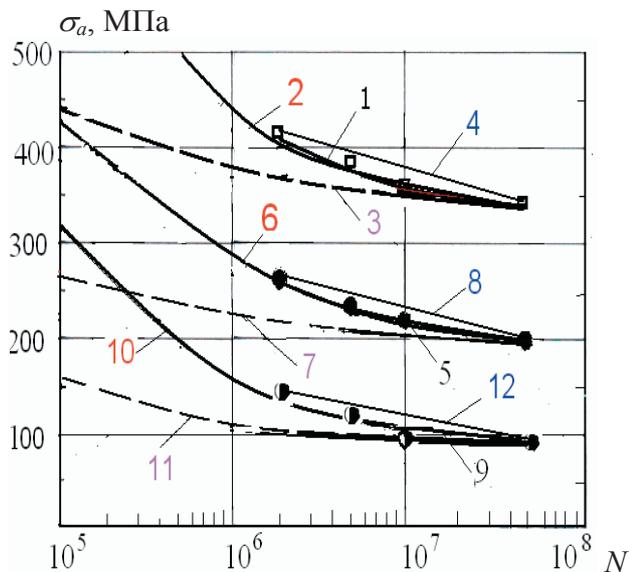


Рис. 1. Экспериментальные и аналитические кривые усталости металлов; (эксперимент) 1 - Ni-20%Cr, 5 - Cu-5%Al-4Mo, 9 - Cu; (расчет) по уравнению (5) - 4, 8, 12, по уравнению (6) - 3, 7, 11, по уравнению (7) - 2, 6, 10

### 5. Выводы

Таким образом, полученные на основе дислокационных представлений физики твердого тела уравнения (5)...(7) позволяют описать наиболее распространенные зависимости  $\sigma_a-N$  (1), уточнить физический смысл их коэффициентов и прогнозировать новые формы таких зависимостей. В частности, первая постоянная  $\sigma_0$  или  $A_1$  в экспериментальных уравнениях (1) не зависит от  $N$ , а коэффициент перед функцией от  $N$  сложным образом зависит от энергии активации, активационного объема и температуры испытаний, но тем не менее, поддается расчету.

Показано, что с физической точки зрения атермическую компоненту предела выносливости или физический предел выносливости следует определять при температуре испытаний  $T > T^* \approx 0,2T_{пл}$ .

При этом в работе получены аналитические физические зависимости  $\sigma_a$  одновременно от  $D, N, T$  и  $f$ .

### Литература

1. Троценко В.Т. Нелокалізоване втомне пошкодження металів і сплавів// Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. - №1. – с.26-38.
2. Троценко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник. Ч.1. – Киев: Наукова думка, 1987. - 510 с.
3. Иванова В.С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов.- М.: Металлургия, 1978. - 456 с.
4. Фирстов С.А., Луговской Ю.Ф. О влиянии микроструктуры на циклическую долговечность микрослоистых Fe/Cu, Mo/Cu и дисперсно-упрочненных Ni-Cr-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> материалов // Доповіди НАНУ. – 2008. – №10. –С.112-117.
5. Экобори Т. Научные основы прочности и разрушения материалов. Пер. с яп. Киев: Наук. думка, 1978. – 352 с.
6. Яковлева Т.Ю. Локальная пластическая деформация и усталость металлов.- Киев: «Наукова думка», 2003. – 236 с.
7. Conrad H. – J.Metals, 1964, 16, 7, 582.
8. Alefeld G. – Zs. Naturforschung, 1962, 17a, 10, 899.
9. О физической природе температурной зависимости предела текучести/ Мильман Ю.В., Трефилов В.И.// Механизм разрушения металлов. - Киев: Наукова думка. - 1966. – С. 59 -76.
10. Фирстов С.А., Луговской Ю.Ф. Особенности влияния микроструктуры на прочность композиционных материалов при статическом и циклическом нагружении// Электронная микроскопия и прочность материалов. – К.: изд. ИПМ. – 2008. – С. 83-88.