

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 σ_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, σ_0 - физический предел выносливости. Но эти зависимости не связаны непосредственно с размером структурных элементов D . С другой стороны экспериментальные зависимости σ_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 σ_{0f} и K_f - постоянные. Отметим, что в [4-6] представлены модели, содержащие несколько факторов или аргументов функции σ_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 σ_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 σ_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 τ 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 ε_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, σ - 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

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

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

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

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 активированное 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 σ_a от N .

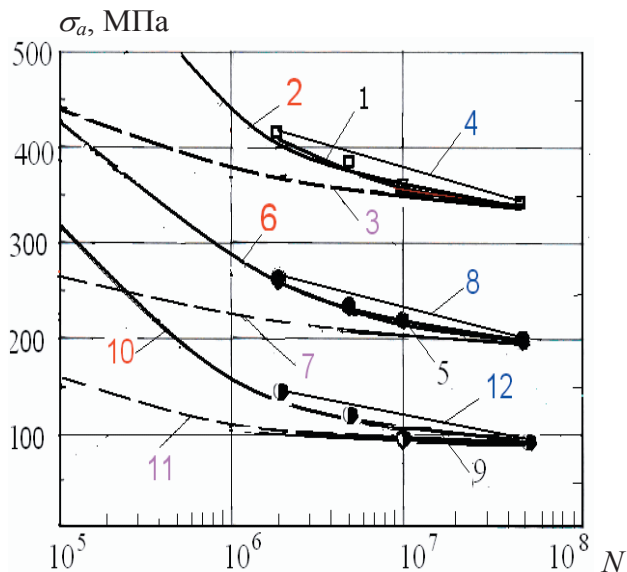


Рис. 1. Экспериментальные и аналитические кривые усталости металлов; (эксперимент) 1 - Ni-20%Cr, 5 - Cu-5%Al-4Mo, 9 - Cu; (расчет) по уравнению (5) - 4, 8, 12, по уравнению (6) - 3, 7, 11, по уравнению (7) - 2, 6, 10

5. Выводы

Таким образом, полученные на основе дислокационных представлений физики твердого тела уравнения (5)...(7) позволяют описать наиболее распространенные зависимости σ_a-N (1), уточнить физический смысл их коэффициентов и прогнозировать новые формы таких зависимостей. В частности, первая постоянная σ_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 σ_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-Al₂O₃ 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.