

УДК.621.891:621.316

Филоненко С.Ф., Стахова А.П.

Национальный авиационный университет. Украина, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ СТАДИИ НОРМАЛЬНОГО К СТАДИИ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Анотація

Розглянуто результати моделювання результуючого сигналу акустичної емісії в процесі нормального і катастрофічного зношування пар тертя. Отримано, що на стадії нормального зношування усереднені параметри сигналів акустичної емісії описуються лінійною функцією з певним їх розкидом. При переході до стадії катастрофічного зношування спостерігається зростання середніх значень параметрів результуючого сигналу і збільшення їх розкиду. При цьому залежність зміни середніх параметрів результуючого сигналу в часі описується степеневою функцією, значення показника ступеня якої визначається швидкістю зростання інтенсивності зношування. Отримані результати мають добре узгодження з даними експериментальних досліджень.

Abstract

The results of design the resulting acoustic emission signal are considered in the process of normal and catastrophic wear of friction pair. It is got, that on the stage of normal wear the average parameters of acoustic emission signals are described a linear function with their certain variation. In transition there is growth of mean values of parameters of resulting signal and increase of their variation to the stage of catastrophic wear. Thus dependence change of middle parameters of resulting signal in time is described a sedate function, the value index of degree which is determined speed of growth intensity of wear. The got results have a good concordance with information of experimental researches.

Введение

Теоретические исследования процессов излучения сигналов акустической эмиссии (АЭ), а также моделирование данных процессов в условиях статических и динамических видов нагружения является одной из важных задач их технической диагностики материалов и изделий. Такие исследования позволяют установить не только влияние физических процессов (механизмов), развивающихся в структуре материала, но и определить взаимосвязь АЭ с параметрами и закономерностями протекания данных процессов.

Для описания сигналов АЭ и процессов их излучения используются два основных подхода, и, соответствующие им модели: стохастические модели [1–6] и модели на основе представления физических процессов, протекающих в материалах [7–12]. При построении моделей, в первом случае, рассматривается сигнал АЭ, регистрируемый на выходе приемного датчика, описание которого производится в предположении того, что он является результатом протекания в материале большого количества каких-либо случайных событий. Причем каждое событие существует на достаточно малом промежутке времени. Поэтому суммарный сигнал представляется как сумма потока случайных импульсов, у которых случайна амплитуда и время появления, а форма импульсов является известной. Такой подход не учитывает реальный физический процесс, который вызывает излучение (формирование) сигналов АЭ, что затрудняет установление информативных параметров сигналов АЭ, а так же закономерностей их излучения.

Физические модели сигналов АЭ базируются на учете реальных процессов, развивающихся в структуре материалов, таких как образование и рост трещин, а также протекание пластической деформации. Модели такого типа при статических условиях нагружения были рассмотрены в работах [7, 8]. В основе построения моделей были положены существующие представления о процессах разрушения [13–16]. При этом были получены аналитические выражения для сигналов АЭ, а так же показано, что сигналы АЭ при развитии трещин и протекании пластической деформации различаются между собой. Моделирование сигналов АЭ [9, 10] с описанием различных сценариев роста трещин и протекания пластической деформации позволили не только описать разнообразие реальных форм сигналов АЭ, но и установить закономерности их изменения в зависимости от механизмов процессов разрушения, протекающих в структуре материала.

Подходы, принятые в [7, 8], использованы при построении моделей сигналов АЭ и процессов их излучения в условиях динамических видов нагружения, а именно трении поверхностных слоев материалов на стадии нормального износа [11]. Проведенные исследования также показали раз-

личие сигналов АЭ при разрушении вторичных структур I и II типа, что обусловлено развитием трещин и протеканием пластической деформации [17–20]. Моделирование сигналов АЭ при изменении внешних условий трения (изменении величины начального напряженно-деформированного состояния), времени развития разрушения вторичных структур I и II типа (скорости вращения пар трения), а так же последовательности их разрушения [12] позволило установить основные закономерности изменения формы и параметров регистрируемых сигналов. В то же время, разрушение вторичных структур I и II типа происходит по сложному сценарию, развитие которого во времени определяется условиями трения и кинетикой его протекания [21, 22]. В конечном итоге, происходит переход к поврежденности поверхностей и выход пары трения из рабочего состояния [18, 23]. Поэтому несомненный интерес представляет моделирование закономерностей процессов излучения сигналов АЭ с учетом кинетики протекания процессов трения.

В настоящей работе будет проведено моделирование сигналов АЭ с определением основных закономерностей изменения их параметров с учетом кинетики протекания процессов трения. При этом будет показано, что увеличение износа, ведущего к постепенному возрастанию напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев материалов, приводит к постепенному увеличению параметров результирующего процесса излучения сигналов АЭ. Так же будет установлено, что следствием возрастания напряженно-деформированного состояния является увеличение и разброса амплитуд сигналов АЭ. При этом экспериментальные данные показывают хорошее согласование с результатами теоретических исследований.

Теоретические исследования

При построении моделей сигналов АЭ, которые формируются в процессе нормального изнашивания пары трения [11], предполагалось, что поверхность фрикционного контактного взаимодействия ограничена некоторой площадью, которая представляет собой линию малой ширины. При этом считалось, что в пределах данной площади происходит разрушение вторичных структур I или II типов. Дальнейшее моделирование сигналов АЭ осуществлялось при условии того, что вторичные структуры I и II типа, в рассматриваемой площади контакта, могут существовать совместно. При этом процессы их разрушения могут развиваться последовательно или с достаточно малым промежутком времени, с завершением которых происходит завершение формирования сигнала АЭ.

В реальных условиях работы пары трения, как отмечено в [12], происходит последовательная смена площадок контакта вдоль образующей поверхности образцов, что приводит к последовательному разрушению вторичных структур в последовательно изменяющихся площадках контакта. При этом важным фактором становится скорость разрушения или время между последовательными актами разрушения. Естественно, что с учетом динамической смены площадок контакта и уменьшением времени разрушения вторичных структур I и II типа будет происходить переход от результирующего импульсного к результирующему непрерывному процессу излучения сигналов АЭ, который можно представить в виде суммы сигналов [12], возникающих в случайные моменты времени

$$U'(t) = \sum_i U_T(t - t_i) + \sum_j U_d(t - t_j), \quad (1)$$

где t_i, t_j — случайные моменты времени появления сигналов АЭ $U_T(t)$ и $U_d(t)$ при разрушении вторичных структур, соответственно, I и II типа.

С учетом аналитических выражений полученных в [11] выражение (1) будет иметь вид

$$U'(t) = \sum_i U_0 \delta_0 \sigma_{0e}^3 e^{4z(t-t_i)} e^{-b\sigma_{0e} z(t-t_i)} + \sum_j U_{0d} \epsilon_{0d} e^{r(t-t_j)} e^{-B\epsilon_{0d} r(t-t_j)} \quad (2)$$

где $U_0 = kN_0cz$ — максимально возможное смещение при разрушении без дисперсного по прочности поверхностного слоя S_T материала; k — коэффициент пропорциональности; N_0 — количество элементарных объемов в области неоднородности S_T ; c, b — коэффициенты распределения элементарных объемов по прочности (зависят от физико-механических характеристик материала; σ_{0e} — начальные эквивалентные напряжения на этапе нормального изнашивания; t — время; $z = E/\xi$; ξ — коэффициент вязкости; E — модуль упругости;

$\delta_0 = \int_{t-\delta/2}^{t+\delta/2} a(\tau) d\tau$ — средняя длительность возмущения

при разрушении элементарного объема; $a(\tau)$ — функция, которая определяет форму одиночного импульса возмущения (одинакова для всех эле-

ментарных объемов); $U_{0d} = a_0 M \frac{v_d}{\ell_0} \delta_d$ — амплитуда

смещения, которая зависит от физико-механических характеристик материала; a_0 — амплитуда импульса одиночного возмущения при движении дислокации (постоянна и не зависит от дефор-

мации); ℓ_0 — расстояние между двумя актами излучения одиночной дислокации; v_d — средняя скорость движения дислокаций (считается постоянной); ε_{0d} — начальная относительная деформация;

$$\delta_d = \int_{t-\delta_{1/2}}^{t+\delta_{1/2}} a_1(\tau) d\tau$$

— средняя длительность импульса возмущения; $a_1(\tau)$ — функция, которая определяет форму импульса возмущения (является неизменной; M, B, r — постоянные (зависят от физико-механических характеристик материалов).

Моделирование сигналов АЭ, согласно (2), по выбранному сценарию разрушения вторичных структур I и II типа с уменьшением временных промежутков между актами разрушения данных структур и увеличением начального напряженно-деформированного состояния на этапе нормального износа, показало, что результирующий сигнал является непрерывным сигналом. При этом наблюдается сжатие сигнала во времени, возрастание его амплитуды и увеличение разброса по амплитуде.

При разработке моделей и моделировании сигналов АЭ мы рассматривали стадию нормального износа. Это обусловлено тем, что стадия приработки, как известно [22], является неравновесной стадией изнашивания и занимает малую долю в общем временном ресурсе работы пары трения. Стадия нормального износа является наиболее продолжительной стадией по времени. Ее характерной особенностью является постоянство значения интенсивности изнашивания $dH/dL_T = \text{const}$ ($dH/dt = \text{const}$), где H — износ; L_T — путь трения; t — время. С физической точки зрения, это означает, что на стадии нормального износа изнашивание происходит при практически неизменных механизмах и напряженно-деформированном состоянии. Так как АЭ является отражением внутренних процессов, происходящих в структуре материала при их деформировании и разрушении, то, очевидно, что при отмеченных условиях на данной стадии должен наблюдаться стабильный процесс излучения сигналов АЭ с определенными параметрами — некоторое среднее значение амплитуды процесса излучения и определенная величина ее разброса. Подобный результат и был получен в

[12] при моделировании сигналов АЭ с заданным начальным напряженно-деформированным состоянием. На рис. 1 показан результат такого моделирования в виде графиков изменения $\tilde{U}(t) = U^*(t)/U_{\text{max}}$ в относительных единицах. При построении графиков время нормировано на время действия нагрузки на пару трения, которое составляет t_{max} . Параметры $\sigma_{0e}, \varepsilon_{0d}, b$ и B приведены к безразмерным величинам. Моделирование сигналов АЭ проводилось по выбранному сценарию последовательного разрушения структур I и II типа с определенным временным промежутком. Например, разрушение структур происходит по сценарию — I, I, I, II, II, I, II, II, I, I, I, II, II, II, ... и т.д.

Из рис. 1 видно, что при заданном и неизменном напряженно-деформированном состоянии процессы излучения сигналов АЭ представляют собой непрерывные процессы с некоторым средним значением амплитуды результирующего сигнала и ее разбросом. При этом с возрастанием напряженно-деформированного состояния пары трения наблюдается, как увеличение среднего значения амплитуды сигналов АЭ, так и увеличение ее разброса (рис. 1, б). Полученные результаты имеют хорошее согласование и с экспериментальными данными [12].

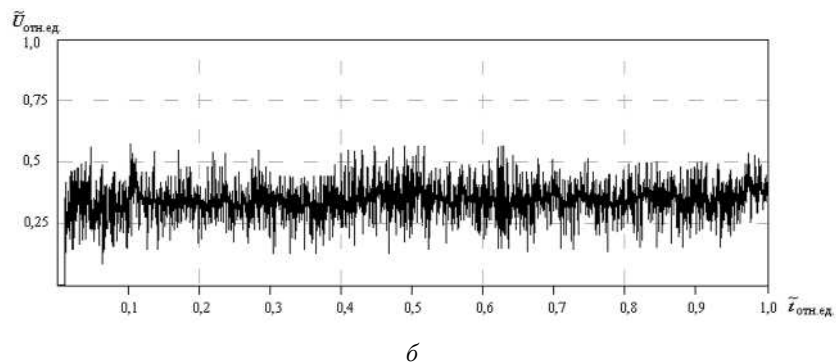
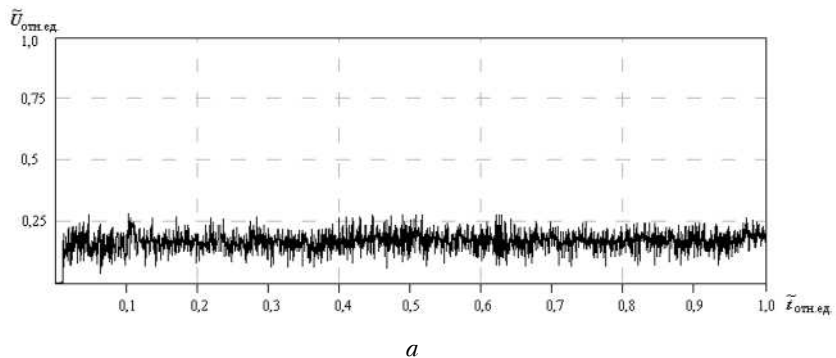


Рис. 1. Моделирование сигналов АЭ на стадии нормального изнашивания при разрушении вторичных структур I и II типа для различных начальных значений напряжений и деформаций, согласно (2): а — $\sigma_{0e} = 11$; $\varepsilon_{0d} = 11$; б — $\sigma_{0e} = 13$. $b=B=10$. Шаг приращения времени начала разрушения каждой последующей структуры I или II типа составляет 0,00001 в относительных единицах. $\tilde{U}_{\text{отн.ед.}}$ — нормированное значение на U_{max} ; $\tilde{t}_{\text{отн.ед.}}$ — нормированное значение на $t_{\text{max}} = \text{const}$

Вместе с тем, в процессе развития трения во времени стадия нормального износа переходит в стадию катастрофического износа [22]. Данная стадия характеризуется тем, что происходит возрастание интенсивности изнашивания dH/dL_T . Причем интенсивность изнашивания во времени или от длины пути трения возрастает с ускорением до выхода пары трения из рабочего состояния. Естественно, что увеличение изнашивания при прочих равных условиях, сопровождается, прежде всего, возрастанием напряженно-деформированного состояния пары трения.

Исходя из сказанного, проведем моделирование результирующего сигнала АЭ, согласно (2), при переходе от стадии нормального к стадии катастрофического изнашивания. При этом будем считать, что в процессе работы пары трения происходит возрастание напряженно-деформированного состояния без изменения механизмов изнашивания. Другими словами, при увеличении износа происходит разрушение вторичных структур I и II типа с постепенным возрастанием напряженно-деформированного состояния, увеличение которого может быть обусловлено, например, увеличением объема разрушаемых структур. Результат такого моделирования показан на рис. 2 в виде графика изменения $\tilde{U}(t) = U(t)/U_{\max}$ в относительных единицах, где U_{\max} принято равным $U_{\max} = 60$ в безразмерных величинах. При построении графика время нормировано на время действия нагрузки на пару трения, которое составляет t_{\max} . σ_{0e} , ϵ_{0d} , b и B . Моделирование результирующего сигнала АЭ проводилось по выбранному сценарию последовательного разру-

шения структур I и II типа с заданными временными промежутками (0,00001 в относительных единицах).

При моделировании рассматривались две стадии процесса трения — стадия нормального изнашивания (1, рис. 2) при некотором начальном напряженно-деформированном состоянии и стадия катастрофического изнашивания (2, 3, 4, 5, 6, рис. 2). На стадии катастрофического изнашивания происходило возрастание напряжений и деформаций, которые в пределах некоторого времени оставались неизменными. Так на этапе 2 стадии катастрофического изнашивания их значения (в безразмерных величинах) составляли $\sigma_{0e} = 4$, $\epsilon_{0d} = 4$ и оставались постоянными на интервале времени (в относительных единицах) $0,5 < t \leq 0,56$. На этапе 3, соответственно, $\sigma_{0e} = 5$, $\epsilon_{0d} = 5$ в пределах интервала времени $0,6 < t \leq 0,66$ и т.д. (рис. 2). На участках A, B, C, D, E (рис. 2) происходило плавное возрастание напряжений и деформаций от предыдущих до последующих значений. Так на участке A происходило плавное возрастание напряжений и деформаций от значений $\sigma_{0e} = 2$, $\epsilon_{0d} = 2$ до значений $\sigma_{0e} = 4$, $\epsilon_{0d} = 4$. На участке B — от значений $\sigma_{0e} = 4$, $\epsilon_{0d} = 4$ до значений $\sigma_{0e} = 5$, $\epsilon_{0d} = 5$ и т.д.

Из полученного результата (рис. 2) видно, что результирующий сигнал АЭ, как на стадии нормального изнашивания, так и на стадии катастрофического изнашивания представляет собой непрерывный сигнал. Другими словами процесс изнашивания пары трения сопровождается непрерывным излучением сигналов АЭ. На стадии нормального изнашивания (1, рис. 2) при заданном минимальном напряженно-деформированном состоянии процесс излучения сигналов АЭ происходит с некоторой средней амплитудой и минимальным ее разбросом. Однако переход к стадии катастрофического изнашивания (этапы A и 2 , рис. 2), который сопровождается возрастанием напряжений и деформаций, приводит к возрастанию средней амплитуды результирующего сигнала АЭ и к увеличению ее разброса.

С возрастанием напряженно-деформированного состояния на последующих этапах стадии катастрофического изнашивания (этапы $B, 3, C, 4, D, 5, E, 6$, рис. 2) характер изменения сигналов АЭ повторяется — наблюдается возрастание, как средней амплиту-

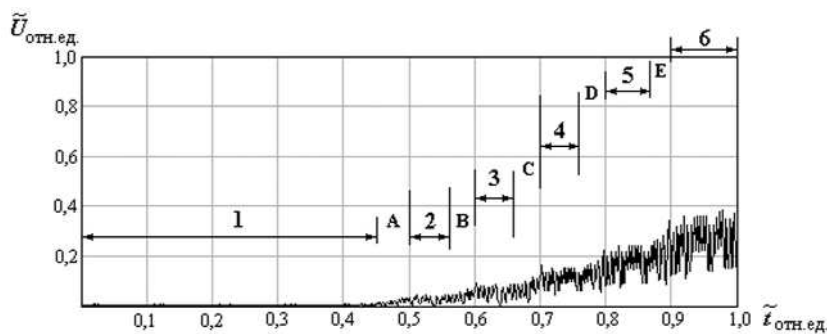


Рис. 2. Моделирование результирующего сигнала АЭ на стадии нормального и катастрофического изнашивания при разрушении вторичных структур I и II типа при изменении значений напряжений и деформаций, согласно (2):

1 — стадия нормального изнашивания; 2, 3, 4, 5, 6 — стадия катастрофического изнашивания. Значения σ_{0e} и ϵ_{0d} : 1 — $\sigma_{0e} = 2$, $\epsilon_{0d} = 2$; 2 — $\sigma_{0e} = 4$, $\epsilon_{0d} = 4$; 3 — $\sigma_{0e} = 5$, $\epsilon_{0d} = 5$; 4 — $\sigma_{0e} = 6$, $\epsilon_{0d} = 6$; 5 — $\sigma_{0e} = 7$, $\epsilon_{0d} = 7$; 6 — $\sigma_{0e} = 8$, $\epsilon_{0d} = 8$. $b=B=10$. A, B, C, D, E — участки плавного нарастания напряжений и деформаций.

Шаг приращения времени начала разрушения каждой последующей структуры I или II типа составляет 0,00001 в относительных единицах.

$\tilde{U}_{\text{норм.ед.}}$ — нормированное значение на U_{\max} . $\tilde{t}_{\text{норм.ед.}}$ — нормированное значение на $t_{\max} = \text{const}$

ды результирующего сигнала, так и величины ее разброса.

Обработка и анализ полученных результатов (рис. 2) с использованием математических приложений под *Windows* показал, что общая зависимость изменения средней амплитуды результирующего сигнала АЭ в относительных единицах (1, рис. 3) описывается выражением вида

$$\tilde{U}_{\text{отн.ед.}} = Gt^W, \quad (3)$$

где значения коэффициентов G и W , соответственно, равны: $G = 0,3$ и $W = 3,1$.

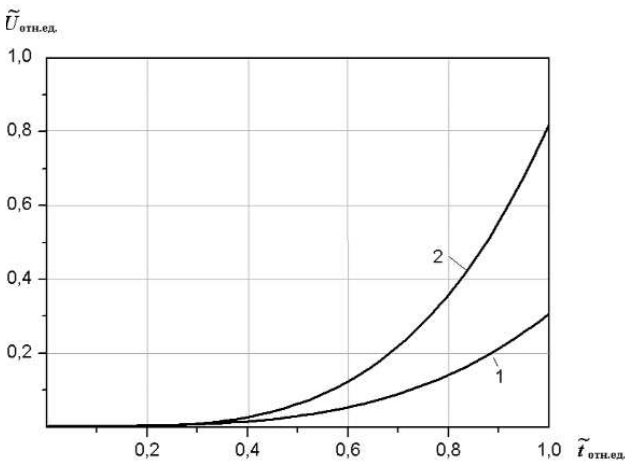


Рис. 3. Зависимости изменения усредненной амплитуды модельных результирующих сигналов АЭ на стадиях нормального и катастрофического изнашивания:

- 1 — для сигнала, приведенного на рис. 2;
- 2 — для сигнала, приведенного на рис. 4

В то же время, при анализе средней амплитуды результирующего сигнала АЭ по стадиям изнашивания определено следующее. На стадии нормального изнашивания (этап 1, рис. 2), которая находится в диапазоне времен $0 < t \leq 0,44$, среднее значение амплитуды результирующего сигнала АЭ описывается выражением $\tilde{U}_{\text{отн.ед.}} = A + Bt$; где значения коэффициентов A и B , соответственно, равны: $A = 0,004$ и $B = 0,00011$. На стадии катастрофического изнашивания ($B, 3, C, 4, D, 5, E, 6$ рис. 2), которая находится в диапазоне времен $0,44 < t \leq 1,0$, среднее значение амплитуды результирующего сигнала АЭ описывается выражением вида $\tilde{U}_{\text{отн.ед.}} = G_1 t^{W_1}$, где значения коэффициентов G_1 и W_1 , соответственно, равны: $G_1 = 0,43$

и $W_1 = 3,22$. Отметим, что при обработке данных и построении усредненных аппроксимирующих зависимостей учитывался и разброс по амплитуде результирующего сигнала АЭ.

Из полученного результата видно, что на стадии нормального изнашивания средняя амплитуда результирующего сигнала АЭ описывается линейной зависимостью. Однако при переходе к стадии катастрофического износа зависимость изменения средней амплитуды результирующего сигнала АЭ описывается уже степенной функцией. Совершенно очевидно, что показатель степени (W, W_1) аппроксимирующего выражения будет зависеть от скорости развития процесса или интенсивности изнашивания. При этом, чем выше интенсивность изнашивания, тем большим будет значение показателя степени W, W_1 .

Результат моделирования сигнала АЭ на стадии нормального и стадии катастрофического изнашивания при более резком возрастании напряженно-деформированного состояния показан на рис. 4. График представлен в виде зависимости изменения $\tilde{U}(t) = U'(t)/U_{\text{max}}$ в относительных единицах, где U_{max} принято равным $U_{\text{max}} = 60$ в безразмерных величинах. При построении графика время нормировано на время действия нагрузки на пару трения, которое составляет t_{max} . Параметры $\sigma_{0e}, \epsilon_{0d}, b$ и B приведены к безразмерным величинам. Моделирование результирующего сигнала АЭ, как в предыдущем случае проводилось по выбранному сценарию последовательного разрушения структур I и II типа с определенными временными промежутками. На этапах 3, 4, 5 и 6 (рис. 4), по отношению

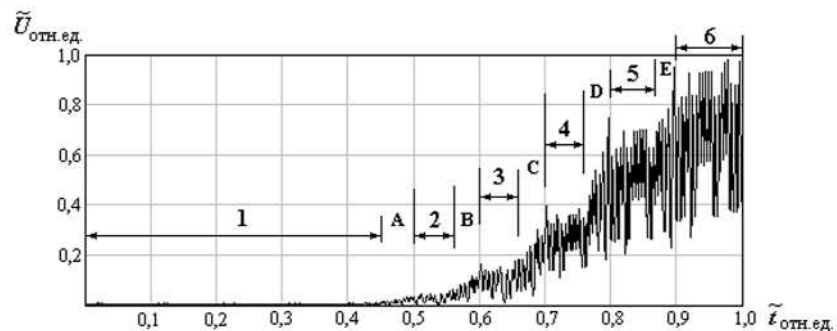


Рис. 4. Моделирование результирующего сигнала АЭ на стадии нормального и катастрофического изнашивания при разрушении вторичных структур I и II типа при изменении значений напряжений и деформаций, согласно (2):

- 1 — стадия нормального изнашивания; 2, 3, 4, 5, 6 — стадия катастрофического изнашивания. Значения σ_{0e} и ϵ_{0d} : 1 — $\sigma_{0e} = 2, \epsilon_{0d} = 2$; 2 — $\sigma_{0e} = 4, \epsilon_{0d} = 4$; 3 — $\sigma_{0e} = 6, \epsilon_{0d} = 6$; 4 — $\sigma_{0e} = 8, \epsilon_{0d} = 8$; 5 — $\sigma_{0e} = 10, \epsilon_{0d} = 10$; 6 — $\sigma_{0e} = 11, \epsilon_{0d} = 11$.
- $b = B = 10$. A, B, C, D, E — участки плавного нарастания напряжений и деформаций. Шаг приращения времени начала разрушения каждой последующей структуры I или II типа составляет 0,00001 в относительных единицах.
- $\tilde{U}_{\text{отн.ед.}}$ — нормированное значение на $U_{\text{max}} \cdot \tilde{t}_{\text{отн.ед.}}$ — нормированное значение на $t_{\text{max}} = \text{const}$

к моделированию сигнала АЭ рис. 2, были приняты большие значения напряжений и деформаций: на этапе 3 — $\sigma_{0e} = 6$, $\epsilon_{0d} = 6$; на этапе 4 — $\sigma_{0e} = 8$, $\epsilon_{0d} = 8$; на этапе 5 — $\sigma_{0e} = 10$, $\epsilon_{0d} = 10$; на этапе 6 — $\sigma_{0e} = 11$, $\epsilon_{0d} = 11$. Как и в предыдущем случае, на участках А, В, С, D, Е (рис. 4) происходило плавное возрастание напряжений и деформаций от предыдущих до последующих значений. Так на участке А происходило плавное возрастание напряжений и деформаций от значений $\sigma_{0e} = 2$, $\epsilon_{0d} = 2$ до значений $\sigma_{0e} = 4$, $\epsilon_{0d} = 4$. На участке В — от значений $\sigma_{0e} = 4$, $\epsilon_{0d} = 4$ до значений $\sigma_{0e} = 6$, $\epsilon_{0d} = 6$ и т.д.

Из полученного результата (рис. 4) видно, что при более резком возрастании напряженно-деформированного состояния наблюдается более резкое увеличение средней амплитуды результирующего сигнала АЭ и увеличение ее разброса.

Обработка и анализ полученных данных (рис. 4) с использованием математических приложений под *Windows* показал, что общая зависимость изменения средней амплитуды результирующего сигнала АЭ в относительных единицах (2, рис. 3) описывается выражением вида

$$\tilde{U}_{\text{отн.ед.}} = G_2 t^{W_2}, \quad (4)$$

где значения коэффициентов G_2 и W_2 , соответственно, равны: $G_2 = 0,82$ и $W_2 = 4,2$.

Как видно, при возрастании напряженно-деформированного состояния показатель степени аппроксимирующего выражения возрастает.

Анализ средней амплитуды результирующего сигнала АЭ на стадии нормального изнашивания (этап 1, рис. 4), которая находится в диапазоне времен $0 < t \leq 0,44$, показал, что она описывается выражением $\tilde{U}_{\text{отн.ед.}} = A_1 + B_1 t$; где значения коэффициентов A_1 и B_1 , соответственно, равны: $A_1 = 0,004$ и $B_1 = 0,00011$. Это совпадает с ранее полученным результатом. Однако на стадии катастрофического изнашивания (В, 3, С, 4, D, 5, Е, 6, рис. 4), которая находится в диапазоне времен $0,44 < t \leq 1,0$, среднее значение амплитуды результирующего сигнала АЭ описывается выражением вида $\tilde{U}_{\text{отн.ед.}} = G_3 t^{W_3}$, где значения коэффициентов G_3 и W_3 , соответственно, равны: $G_3 = 0,82$ и $W_3 = 4,4$.

Результаты проведенного моделирования имеют хорошее согласование с экспериментальными данными, которые рассмотрены в работе [24] при исследовании пар трения методом АЭ. При этом было установлено, что на стадии нормального изнашивания при заданных условиях экспериментов (материал пар трения, скорость вращения, внешняя нагрузка и т.д.) значение усредненной мощности сигналов АЭ практически остается неизменным. Мы можем сравнивать полученные

результаты, так как мощность сигнала является квадратом его амплитуды. В тоже время при переходе к стадии катастрофического изнашивания наблюдается возрастание усредненной мощности сигналов АЭ. При этом момент времени начала возрастания интенсивности износа по зависимости изменения усредненной мощности сигналов АЭ фиксируется значительно раньше, чем по анализу момента трения.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что процессы излучения и параметры сигналов АЭ зависят от кинетики процессов интенсивности изнашивания пар трения, определяемых напряженно-деформированным состоянием поверхностных слоев материалов. При этом показано, что разработанные модели сигналов АЭ, согласно существующим представлениям о разрушении вторичных структур I и II типа, позволяют описать процессы их излучения на различных стадиях изнашивания. Для стадии нормального изнашивания, когда интенсивность износа является постоянной величиной, излучение сигналов АЭ характеризуется тем, что средняя амплитуда сигналов описывается линейной функцией с некоторой величиной ее разброса. Значение средней амплитуды и ее разброс определяются величиной напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев материалов пары трения. Однако при переходе к стадии катастрофического изнашивания, когда возрастает интенсивность износа, процесс излучения сигналов АЭ характеризуется тем, что происходит возрастание, как средней амплитуды сигналов, так и величины их разброса. При этом зависимость изменения средней амплитуды описывается функцией степенного вида. Подобная закономерность изменения процесса излучения и параметров сигналов АЭ определяется изменением напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев материалов. Причем, чем выше уровень напряжений и деформаций, тем более резкое возрастание средней амплитуды сигналов АЭ и величины ее разброса. Следствием этого является и возрастание показателя степени аппроксимирующего выражения для средней амплитуды сигналов АЭ.

С точки зрения технической диагностики и мониторинга узлов трения, полученные закономерности изменения процесса излучения и параметров сигналов АЭ представляют несомненный интерес. Во-первых, контроль стабильности средних параметров сигналов АЭ во времени и их разброса обеспечивает слежение за стадией нормального изнашивания поверхностных слоев материалов пар трения. Подобный контроль возможно осуществлять и по контролю линейности

функции, описывающей изменение средних значений параметров сигналов АЭ. Во-вторых, увеличение средних значений параметров сигналов АЭ и их разброса обеспечивает контроль перехода к стадии катастрофического изнашивания. Подобный контроль возможно осуществлять и по контролю отклонения от линейности функции, описывающей изменение средних значений параметров сигналов АЭ, и переходу к показательной функции. Причем, чем выше степень показательной функции, тем выше интенсивность изнашивания или поврежденность поверхности и выше вероятность выхода пары трения из рабочего состояния.

Литература

1. Иванов В.И., Белов В.М. Акусто-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. — М: Машиностроение, 1981. — 184 с.
2. Акустические и электрические методы в триботехнике /Под редакцией В.А. Белого. — Минск: Наука и техника, 1987. — 280 с.
3. Lypcz P., Putarega M.I., Piotrkowski R., Ruzzante J.E. Discussion of log-normal distribution of amplitude in acoustic emission signals// J. Of acoustic emission. — v. 17, № 1–2, 1999. — P. 61–67.
4. Lei X., Kusunose K. Quasi-static fault growth and cracking in homogeneous brittle rock under triaxial compressing using acoustic emission monitoring //J.of Geophys. Research. — v. 105, № B3, 2000. — P. 6127–6139.
5. Detailed analysis of acoustic emission activity during catastrophic fracture of faults in rock/Lei X., Masuda K., Nishizawa O. and others // J. Of Structural Geology. — № 26, 2004. — P. 247–258.
6. Minozzi M., Caldarelli G., Pietronero L., Zapperi S. Dynamic fracture model for acoustic emission// Eur.Phys.J.B. — № 36, 2003. — P. 203–207.
7. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Калита В.М. Модели формирования сигналов акустической эмиссии при деформировании и разрушении материалов//Технологические системы, 2002. — № 1(12). — С. 26–34.
8. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Калита В.М. Модель сигнала акустической эмиссии при образовании в материале трещины с учетом релаксационных процессов //Технологические системы, 2002. — № 5(16). — С. 20–23
9. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Калита В.М. Моделювання сигналів акустичної емісії при виникненні в матеріалі тріщин //Вісник НАУ, 2002. —№ 1. — С. 5–10.
10. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Калита В.М. Моделирование сигналов акустической эмиссии при протекании в материале пластической деформации //Технологические системы, 2002. — № 3(14). — С. 77–81.
11. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Стадниченко В.М., Стахова А.П. Моделі сигналів акустичної емісії при руйнуванні поверхневих шарів пар тертя //Проблеми тертя та зношування, Вип. 47, 2007. — С. 1–8.
12. Babak V.P., Filonenko S.F., Stadnychenko V.M., Stahova A.P. The acoustic emission signals modelling at friction of materials' surface layers //Wear (London, UK). — in printing.
13. Финкель В.М. Физика разрушения. — М.: Металлургия, 1970. — 376 с.
14. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. — М: Издательство Металлургия, 1970. — 472 с.
15. Маламедов И.М. Физические основы надежности. — Л.: Энергия, 1970. — 152 с.
16. Хирт Д., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972. — 600 с.
17. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. — М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон пресс, 1993. — 454 с.
18. Костецкий Б.И., Насовский И.Г. Поверхностная прочность материалов при трении. — К.: Техніка, 1976. — 293 с.
19. Suh Y.M., Iang S.I., Zheng L.Q. A kinetic study of interface reactions for an organic molybdenum compound as a lubricant additive. // Tribology international, 1990. — Vol. 23. — № 6. — P. 438–442.
20. Klamecki B.E. An entropy-based model of plastic deformation energy dissipation in sliding. // Wear, 1984. — Vol. 96. — № 3. — P. 319–329.
21. Georges J.M. Some surface science aspects of tribology. // New Directions in Tribology / Ed. by I. M. Hutchings — Bury, St. Edmunds and London. MEP. — 1997. — P. 67–82.
22. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. — М.: Машиностроение, 1977. — 526 с.
23. Гаркунов Д.Н. Триботехника. — 2 е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. — 328 с.
24. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Стадниченко В.М. Вплив поверхневих властивостей металокерамічних шарів на акустичну емісію// Вісник НАУ № 3, 2005. — С. 3–6.