ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ

Մեխանիկա 48, N° 4, 1995 Механика

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНЫ УСТАЛОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Асанян Д.Д., Летунов В.И.

Հասանյան Դ.Ջ.,Լետունով Վ.Ի.

Հոգնածական ճաքի բաշխումը էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցության պայմաններում

Հասանյան Դ.Ջ.,Լետունով Վ.Ի.

Փորձնական ճանապարհով հետազոտված է էլեկտրական հոսանքի ազդեցությունը ճաքի տարածման արագության վրա, երբ մարմինը ենթարկված է ցիկլիկ ծռման: Որպես փորձարկվող նյութ վերցվում է մագնիսապես պինդ պողպատը, որի մակերեսույթին կա կիսաէլիպտիկ ճաք: Փորձերը ցույց են տալիս, որ ճաքի տարածման արագությունը, ցիկլիկ ծռվող մարմնում, էապես կախված է մարմնով անցնող հոսանքի խտությունից: Դիտարկված է փոփոխական եւ հաստատուն հոսանքների դեպքերը:

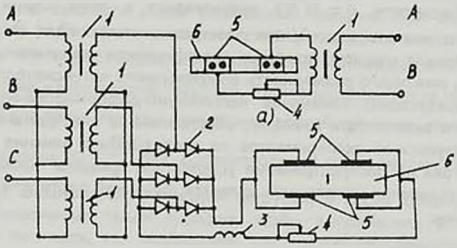
Hasanian D. J., Letunov V. I.

Distribution of Fatique Craked under Electromagnetic Field.

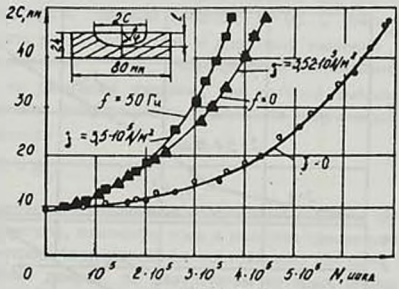
Экспериментально исследовано влияние прямого пропускания электрического тока на скорость роста трещины в циклически изгибаемом образце. В качестве материала были выбраны конструкционные низколегированные магнитожесткие стали, на поверхности которых имеется полуэллиптическая трещина. Эксперименты показывают, что скорость роста трещины, в циклически изгибаемом образце, существенно зависит от плотности тока, которое пропускается через образец. Рассматривались случаи постоянного и переменного тока. Различные теоретические вопросы поведения ферромагнитных тел, в электромагнитных полях рассмотрены в работах [1-4]. В частности,[3-4] посвящены исследованию напряженно-деформированному состоянию ферромагнитных тел с трещиной, при наличии однородного магнитного поля.

В работе рассматриваются вопросы влияния прямого пропускания тока на скорость роста трещины в циклически изгибаемом образце. В качестве материала были выбраны конструкционные низколегированные магнитожесткие стали 09Г2 и 12ГН2МФАЮ.Объектом исследования являлась поверхностная полуэллиптическая трещина фиг.2. Испытания проводились в режиме заданного прогиба образца с частотой нагружения 20 гц. Через циклически изгибаемый образец пропускали постоянный и переменный ток, при этом вектор плотности тока был параллелен плоскости трещины. Частота переменного тока составляла 50 гц. В качестве источника тока использовался понижающий трансформатор ОСУ-20. Принципиальная схема подвода тока к образцу представлена на фиг.1;1а-схема подвода переменного тока; на фиг.1б - постоянного тока. От понижающего трансформатора 1 (фиг.1-а), ток через балластное сопротивление 4 и подводящие клема 5 подавался на образец 6.

Трещина находилась между симметрично расположенными клемами. Величина переменного тока в процессе испытаний варьировалась от 250А до 1500А. Для получения постоянного тока использовалась схема двух полупериодного выпрямления фиг.1б. Пульсации тока устранялись с помощью дросселя 3. Применение данной схемы позволило пропускать через образец постоянный ток, пульсации которого не превышали 3%. Величина постоянного тока в процессе испытания варьировалась от 500А до 1500А.



фиг. 1

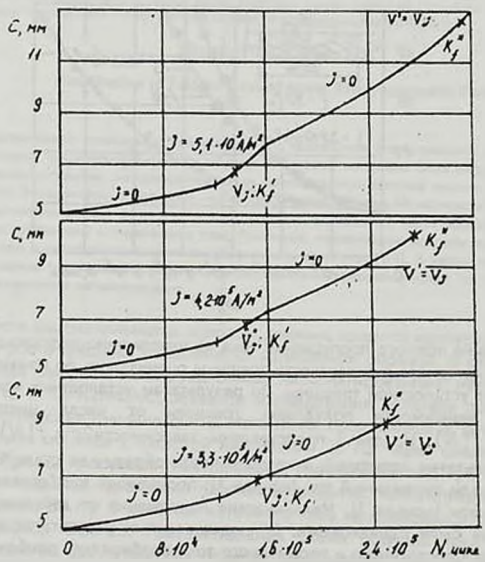


фиг. 2

Влияние прямого пропускания тока на напряженно-деформированное состояние материала в окрестности трещины оценивалось по изменению скорости роста усталостной трещины. По результатам усталостных испытаний строились зависимости полудлины трещины от числа циклов нагружения $c = f(N)$. На фиг.2 представлены зависимости $2c = f(N)$, полученные по результатам испытаний, в которых через образцы из стали 12ГН2МАФАЮ пропускали переменный ток (кривая 1); постоянный ток (кривая 2), и ток не пропускали (кривая 3). Механические напряжения от действия циклической нагрузки были одинаковыми. В представленных результатах экспериментов плотности постоянного и переменного тока подбирались приблизительно равными. Влиянием сжимающего напряжения, вызываемого термическим расши- рением материала вблизи вершины трещины, вследствие выделения джоулевого тепла, пренебрегали [5].

Сравнительный анализ зависимостей $2c = f(N)$, приведенных на фиг.2, показывает, что прямое пропускание как постоянного, так и переменного тока приводит к существенному увеличению скорости усталостной трещины, Аналогичное влияние прямого пропускания переменного тока наблюдалось для стали 0912. На фиг.3 представлены результаты усталостного развития трещины в условиях, когда первоначально трещина развивалась в отсутствии тока, а по достижении трещиной определенных размеров через образец пропускался ток, который оказывал влияние на ее дальнейшее развитие, Как видно, зависимость $c = f(N)$ претерпевает в этом случае излом, Количественно оценить воздействие электромагнитного поля на трещиностойкость материала можно с помощью коэффициента увеличения напряжений - параметра, имеющего размерность коэффициента интенсивности напряжений и характеризующего изменение напряженно-деформированного состояния материала в окрестности трещины, обусловленное электромагнитным полем. Анализ результатов экспериментов по исследованию влияния прямого пропускания тока на распространение усталостной трещины показал, что коэффициент увеличения напряжения является функцией плотности тока и размеров трещины:

$$K_{э.м} = F(j, c) \qquad (1)$$



фиг. 3

Зависимость коэффициента увеличения напряжений от параметров плотности тока j и полудлины поверхностной полуэллиптической трещины c определилась экспериментально, при этом исходили из того, что если поля напряжений у трещины одинаковы, то есть если одинаковы коэффициенты интенсивности напряжений, то механическое поведение трещин будет одинаковым, а скорости распространения трещины равными. Процедуру определения коэффициента увеличения напряжений можно проиллюстрировать с помощью зависимостей, приведенных на фиг.3. Через циклически изгибаемый образец с развивающейся трещиной (участок $j = 0$ зависимости $c = f(N)$ пропускали ток, скорость роста усталостной трещины при этом возросла (участок $j \neq 0$). Для фиксированного размера трещины определялась скорость роста V_j и рассчитывался коэффициент интенсивности напряжений K'_j от действия механической нагрузки. Расчет коэффициента интенсивности напряжений для точки контура полуэллиптической трещины, лежащей на поверхности образца ($\varphi = \frac{\pi}{2}$, фиг.2) производился по формулам, приведенным в работе [6]. Величина механической нагрузки, а также трещины подбирались в экспериментах таким образом, чтобы выполнялись условия маломасштабной текучести, что необходимо для получения однозначной зависимости скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжений [6]. Затем прекращали пропускать через образец ток, что приводило к снижению скорости роста трещины (участок $j = 0$). С увеличением размеров трещины скорость роста возрастала и достигала значения ′ при котором выполнялось равенство ′ $= V_j$. Коэффициент интенсивности напряжений рассчитывался по размерам трещины, для которой выполнялось равенство скоростей. Значение коэффициента увеличения напряжений $K_{э,м}$ определялось в виде разности

$$K_{э,м} = K''_j - K'_j \qquad (2)$$

Поскольку коэффициент увеличения напряжений является функцией двух независимых параметров, плотности тока и размера трещины, в экспериментах один из параметров поддерживался постоянным. На фиг. 3 представлены экспериментальные данные, по результатам которых определялась зависимость $K_{э,м}$ от величины плотности тока.

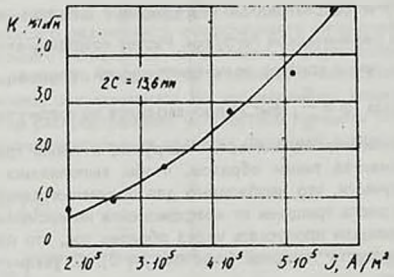
Для фиксированной полудлины трещины определялась скорость роста V_j, величина которой возрастала с увеличением плотности тока. Соответственно возрастало и значение $K_{э,м}$. На фиг. 4 представлена экспериментально полученная зависимость $K_{э,м}$ от плотности тока, являющаяся квадратичной зависимостью

$$K_{э,м} = A_1 j^2 \qquad (3)$$

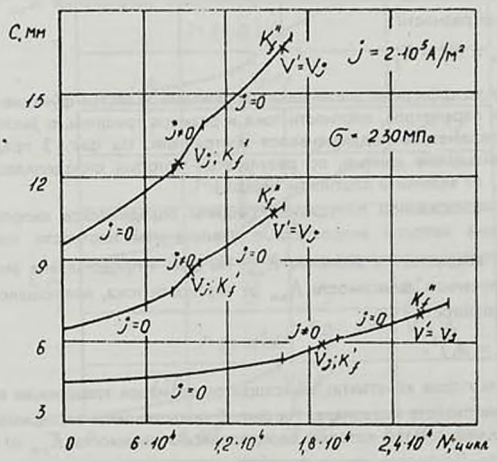
где A_1 - некоторая константа, зависящая от размеров трещины,ее геометрии и магнитных свойств материала. На фиг. 5 представлены экспериментальные данные, по результатам которых определялась зависимость $K_{э,м}$ от полудлины трещины. Плотность тока в процессе эксперимента поддерживалась пос-

тоянной. Для различных размеров трещин в условиях пропускания тока определяли скорости роста трещины , (участок $j \neq 0$) и соответствующие значения коэффициентов интенсивности напряжений от действия механической нагрузки K_f. Действительное истинное значение коэффициента интенсивности напряжений, которое соответствовало скорости , представляет собой сумму

$$K_f = K'_f + K_{э.м} \tag{4}$$



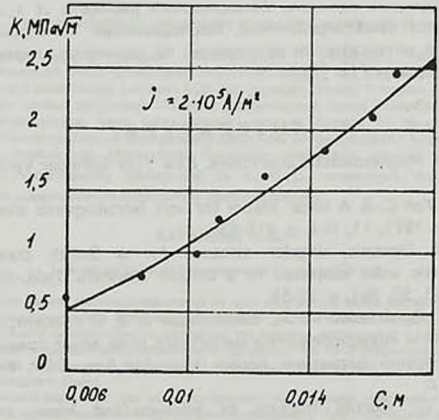
фиг. 4



фиг. 5

где $K_{эм}$ - коэффициент увеличения напряжений. После прекращения пропускания через образец тока скорость роста трещины уменьшалась (участок $j=0$) и достигала прежней величины при значительно больших размерах трещины. Коэффициент интенсивности напряжений $K_{эм}$ рассчитывался по размерам трещины, для которой выполнялось равенство $=V_j$. Коэффициент увеличения напряжений определялся в виде разности (2). С увеличением размеров трещины увеличивался $K_{эм}$. На фиг.6 представлена экспериментально полученная зависимость $K_{эм}$ от полудлины трещины, являющаяся степенной зависимостью с показателем степени 3/2

$$K_{эм}^{j=const} = A_2 c^{\frac{3}{2}} \tag{5}$$



фиг. 6

где A_2 - некоторая константа, зависящая от плотности тока, геометрии трещины и магнитных свойств материала.

В общем виде выражение для коэффициента увеличения напряжения может быть представлено

$$K_{эм} = A_3 j^2 c^{\frac{3}{2}} \tag{6}$$

Из соображения размерности константа A_3 должна содержать магнитную постоянную μ_0 и параметр, характеризующий линейный размер проводника ΔL. Это следует из того, что коэффициент увеличения напряжений является параметром, характеризующим изменение напряженно-деформированного состояния материала в окрестности трещины под воздействием электромагнитных сил, в основе которых лежит взаимодействие магнитного поля и электрического тока. Источником магнитного поля является ток, текущий по

проводнику. Магнитная индукция B, характеризующая поле в проводнике, связана с током посредством магнитной постоянной $\mu_0 / 4\pi$ в магнитное давление, имеющее размерность механического напряжения, зависит от линейных размеров проводника

$$\vec{P}_m = \left(\vec{j} \times \vec{B}\right)\Delta L \tag{7}$$

Окончательно выражение для $K_{эм}$ может быть представлено в виде

$$K_{эм} = A\frac{\mu_0}{4\pi}\mu_r \Delta L j^2 c^{\frac{3}{2}} \tag{8}$$

где A - безразмерный параметр, зависящий от геометрии полуэллиптической трещины; μ_r - магнитная проницаемость материала; ΔL- длина образца между подводящими клемами. Безразмерный параметр A в экспериментах не определялся из-за ограничений, накладываемых на корректную оценку коэффициента интенсивности напряжений по параметру, характеризующему геометрию трещины l / c [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brown W.F.* Magnetoelastic interctions. New York Springer Verlag, 1966, p. 272.
2. *Pao Y.-H, Yeh C.-S.* A linear theory for soft ferromagnetic elastic solid.- Int. J. Eng. Sci. 1973, 11, №4, p. 415-436.
3. *Shindo Y.* Dynamic singular stresses for a Grifith craek in a soft ferromagnetic solid subjected to a uniform magnetic field.-ASME, J. Appl. Mech., 1983, 50, №1, p. 50-56.
4. *Асанян Д. Д., Асланян А. А., Богдасарян Г. Е.* О концентрациях упругих напряжений и индуцированного магнитного поля возле трещины, обусловленных внешним магнитным полем- Изв. АН Арм. ССР, Механика,1988, т.41, №2, с.
5. *Yagawa G.,* Ductile fracture of edge-cracked beam under dynamic electromagnetic bending force.-Eng. Fraet. Mech., 1984, 19, №1, p. 23-34.
6. *Летунов В. М.* Закономерности развития поверхностных трещин в низколегированной стали при асимметричном циклическом изгибе. Сообщение 1- Пробл. прочности. 1985, №11, с. 41-46.
7. *Летунов В. И.* Определение КИН для полуэллиптических поверхностных трещин.- Пробл. прочности.- 1984, №4, с. 17-21.

Институт механики
НАН Армении

Поступила в редакцию
4.11.1992