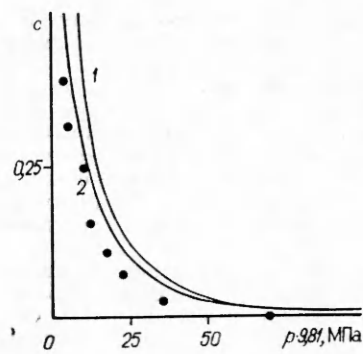


Р и с . 1



Р и с . 2

ти критическое значение макронапряжений $\langle \sigma \rangle$, при котором напряжения включений достигают предела пластичности:

$$(25/4)(1 + (9/16)c)^{-1} I_2^* + d_1 I_1^{*2} = k_1^2.$$

После достижения критического напряжения, определяемого инвариантами I_1^* , I_2^* , реологическая модель описывается общими соотношениями (3.4)–(3.6), учитывающими пластичность включений.

Таким образом, предложенный метод эффективного поля позволяет учесть неоднородность полей напряжений в матрице и бинарное взаимодействие включений и приводит к уточнению расчетных эффективных параметров пластичности композитной среды в рассмотренных примерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буряченко В. А., Липанов А. М. Концентрация термоупругих напряжений на эллипсоидальных включениях и эффективные термоупругие свойства композитных материалов // ПМ.— 1986.— Т. 22, № 11.
2. Буряченко В. А. Корреляционная функция полей напряжений в матричных композитах // Изв. АН СССР. МТТ.— 1987.— № 3.
3. Сараев Л. А. К теории идеальной пластичности многокомпонентных смесей // ПМТФ.— 1984.— № 6.
4. Исупов Л. П., Работнов Ю. Н. О законе пластичности для композитной среды // Изв. АН СССР. МТТ.— 1985.— № 1.
5. Дудукаленко В. В., Лысач Н. Н. О пластических свойствах материала, содержащего пластинчатые включения // Изв. АН СССР. МТТ.— 1980.— № 1.
6. Дудукаленко В. В., Шаповалов С. П. Об установившейся ползучести огнеупорных композитов // ПМТФ.— 1984.— № 4.
7. Маслов Б. П., Хорошун Л. П. Эффективные характеристики упругих, физически нелинейных неоднородных сред // Изв. АН СССР. МТТ.— 1977.— № 2.
8. Шермергор Т. Д. Теория упругости микрон неоднородных сред.— М.: Наука, 1977.
9. Буряченко В. А., Липанов А. М. Уравнения механики газонасыщенных пористых сред // ПМТФ.— 1986.— № 4.
10. Мартынова И. Ф., Скороход В. В. Уплотнение пористого металла при объемном пластическом деформировании в отсутствие деформационного упрочнения // Порошковая металлургия.— 1976.— № 5.

Поступила 19/XI 1986 г.,
в окончательном варианте — 18/I 1988 г.

УДК 539.214 : 539.374 : 539.375

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НА КИНЕТИКУ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ВПЕРЕДИ УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ

А. Д. Волков
(Москва)

Для того чтобы иметь возможность исследовать основные механизмы усталости, необходимо исключить влияние возможно большего числа параметров и проводить эксперименты в простых контролируемых условиях. Для построения физически правдоподобной теории роста трещины очень важно иметь четкое представление о характере, механизме и степени влияния каждого исключаемого параметра. Это особенно

необходимо при изучении кинетики трещины в реальных конструкциях и деталях от действия всей совокупности параметров нагружения, структуры материала и условий его работы.

Так, известно, что при повышении частоты нагружения долговечность материала в общем случае возрастает, причем эта зависимость проявляется особенно ярко при высоких частотах [1]. Степень влияния параметра усталостного нагружения в каждом конкретном случае определяется в настоящее время только экспериментальным путем. Непрерывающиеся попытки объяснения механизма влияния этого фактора на характеристики долговечности в рамках какой-либо из существующих теорий усталости не приводят к положительному результату и лишь создают предпосылки к критике самих теорий (см., например, [2]).

Влияние частоты нагружения на процесс роста усталостной трещины можно (а на наш взгляд — необходимо) объяснять опосредованно через чувствительность пластической зоны к виду нагружения. Это утверждение основывается на двух фактах, подтвержденных экспериментально: во-первых, как пластическая деформация, так и микроразрушение впереди трещины реализуются механизмами, имеющими единую дислокационную природу, и, во-вторых, область предразрушения целиком находится в экстенсивной и интенсивной областях пластической деформации.

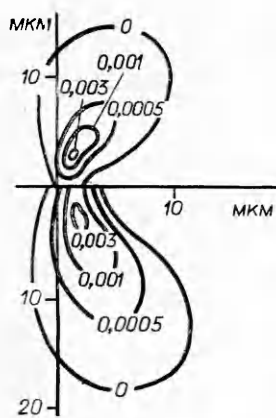
Автором предложена дополненная замкнутая система уравнений пластической деформации, основанная на подобной системе уравнений, разработанной в [3, 4]. Распределение пластической деформации $\epsilon_{пл}$ и границы ее зоны находятся в результате пошагового решения следующей системы:

$$\begin{aligned} (1) \quad & \dot{\epsilon}(\mathbf{r}) = \dot{\epsilon}_0 \exp \left\{ -\frac{U_0 - v\tau_e(\mathbf{r})}{kT} \right\}; \\ (2) \quad & \tau_e(\mathbf{r}) = \tau_y(\mathbf{r}) - \tau_0 - \tau_f(\mathbf{r}) + \tau_l(\mathbf{r}); \\ (3) \quad & \tau_l(\mathbf{r}) = \sum_i \int_S F_i(\mathbf{r} - \mathbf{r}') \Delta\rho(\mathbf{r}') d\mathbf{r}'; \\ (4) \quad & \Delta\rho(\mathbf{r}) = b^{-1}(\nabla \epsilon(\mathbf{r})). \end{aligned}$$

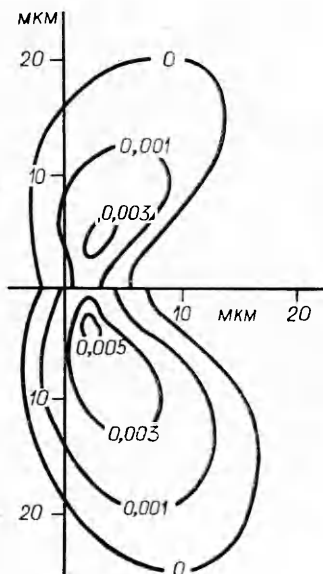
Здесь $\epsilon(\mathbf{r})$ — пластическая деформация в точке с радиусом-вектором \mathbf{r} ; τ_y — напряжение из упругого решения задачи с трещиной; τ_f описывает взаимодействие с дислокациями «леса»; τ_l — суммарное напряжение от разностных дислокаций пластической зоны S ; $F_i(\mathbf{r} - \mathbf{r}')$ — касательные напряжения в точке \mathbf{r} от единичной дислокации i -й системы скольжения в точке \mathbf{r}' ; τ_e — эффективное касательное напряжение в плоскости скольжения; $\Delta\rho$ — плотность разностных дислокаций; T — температура; ϵ_0 , U_0 , v , k , b , τ_0 — константы. Отличие этой системы от использованной в [3, 4] заключается в учете взаимодействия дислокаций из различных систем пересекающихся плоскостей скольжения (уравнение (3)). Кроме того, уравнение (4) приобретает векторный смысл.

Для исследования конкретных задач о пластическом деформировании материала с трещиной разработан алгоритм решения системы (1) — (4), реализованный в пакете программ. В качестве изменяемых входных параметров взяты параметры нагружения (длина синусоидального цикла $T_{ц}$, амплитуда $\sigma^{вн}$, среднее напряжение цикла, смещение цикла по фазе), структуры и состояния среды (угол между базисом скольжения и трещиной, длина трещины, размер дислокационных ячеек, температура и др.). Ниже представлены результаты в виде карт распределения $\epsilon_{пл}$ для испытаний трещин в стали на нормальный отрыв при различной частоте нагружения (рис. 1—3). Изменение частоты нагружения достигается за счет изменения $T_{ц}$ от 0,01 до 100 с при постоянных коэффициенте асимметрии цикла ($\rho = 0$) и размахе коэффициента интенсивности напряжений ($\Delta K_1 = 25 \text{ кг/мм}^{3/2}$). На этих рисунках приведены карты $\epsilon_{пл}$ на первом цикле: в верхней части при $T_{ц} = 0,01; 1,0; 100$ с и в нижней при $T_{ц} = 0,1; 10; 100$ с соответственно. Из сравнения карт видно, что наиболее полная пластическая деформация произошла за 100 с и при уменьшении длительности действия внешней нагрузки уменьшаются ее площадь и интенсивность.

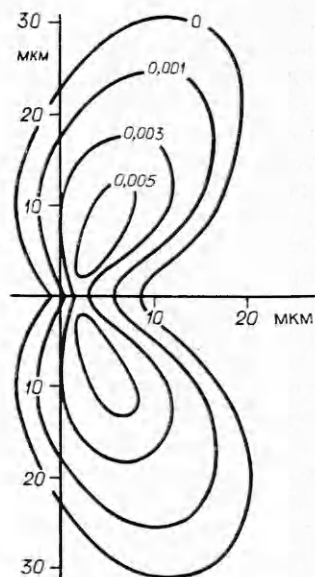
Эти же тенденции наблюдаются и при длительных испытаниях. На рис. 4 представлены картины пластической деформации при различной



Р и с. 1

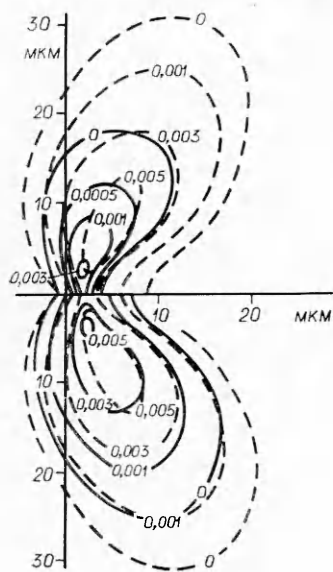


Р и с. 2

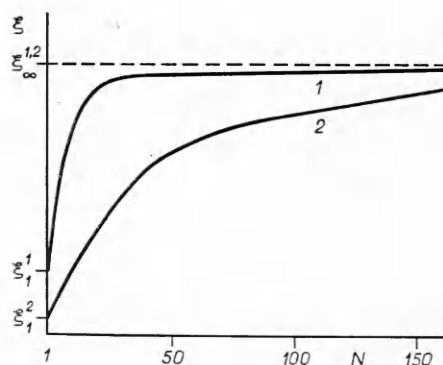


Р и с. 3

частоте испытаний (сплошные линии в верхней части — 100 Гц, в нижней — 1 Гц, штриховые — предельные карты $\varepsilon_{пл}$) на пятых циклах нагружения. Размах ΔK и коэффициент асимметрии выбраны такие же, как и в предыдущих задачах. При таком нагружении не возникает обратной пластической деформации, и поэтому предельная карта $\varepsilon_{пл}$ одинакова для всех частот и определяется K_{1max} . Однако даже в этом случае, как видно из сравнения карт на рис. 4, существует различие в динамике формирования пластической зоны: при большей частоте нагружения требуется большее число циклов N для достижения определенной степени деформированности, чем при меньшей частоте. Еще более наглядно это видно из графика на рис. 5, где степень пластической деформированности материала впереди трещины для каждой частоты представлена в виде функции от числа циклов нагружения (линии 1 и 2 — 1 и 100 Гц). В качестве характеристики деформированности материала ξ здесь условно взят интеграл от функции распределения $\varepsilon_{пл}$ по всей площади S .



Р и с. 4



Р и с. 5

мирования материала с трещиной. Полученное при помощи описанной в работе дислокационной модели пластического деформирования влияние длины цикла нагружения на кинетику пластической зоны в целом совпадает с наблюдаемым в прямых экспериментах. Кроме того, возникающие в процессе решения замкнутой системы в качестве промежуточных результатов карты плотностей разностных дислокаций $\Delta\rho(\mathbf{r})$ и карты суммарной плотности дислокаций, участвовавших в процессе пластического деформирования, а также распределения эксплуатационных остаточных напряжений (являющиеся далекодействующими полями напряжений ансамбля разностных дислокаций) могут быть использованы при построении физически правдоподобных дислокационных моделей роста усталостной трещины.

Отличие предлагаемого подхода к изучению усталостного разрушения от существующих в линейной механике разрушения полуэмпирических теорий заключается в следующем. Отсутствие физической основы в математических моделях полуэмпирических теорий вынуждает механиков ограничиваться одним-двумя параметрами из числа тех, которые влияют на скорость продвижения трещин. В противном случае число эмпирических констант в результирующих выражениях растет нелинейно. Описанный в работе подход позволяет построить на основе дислокационной модели многопараметрическую зависимость для da/dN с ограниченным числом эмпирических констант.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов.— М.: Мир, 1972.
2. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая теория прочности твердых тел.— М.: Наука, 1974.
Владимиров В. И., Карпинский А. Н. и др. Моделирование на ЭВМ кинетики деформации в пластической зоне у вершины трещины // Пробл. прочности.— 1983.— № 12.
4. Владимиров В. П. Физическая природа разрушения металлов.— М.: Металлургия, 1984.

Поступила 13/IV 1987 г.,
в окончательном варианте — 19/X 1987 г.

УДК 532.593 : 539.3 : 624.131

ТРЕХМЕРНЫЕ ИЗГИБНО-ГРАВИТАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВБЛИЗИ ДВИЖУЩЕЙСЯ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ

А. Е. Букатов, В. В. Жарков
(Севастополь)

В линейной постановке изучаются трехмерные изгибно-гравитационные волны, возбуждаемые в ближней зоне при движении области постоянных давлений по равномерно сжатой тонкой упругой пластинке, плавающей на поверхности однородной идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины. Анализируется зависимость структуры колебаний от скорости перемещения области давлений, толщины пластинки и величины сжимающего усилия.

Асимптотический анализ развития изгибно-гравитационных волн выполнен в [1, 2] при движении плоского фронта давлений и в [1, 3—5] при движении осесимметричной области давлений. Анализ динамического прогиба под сосредоточенной нагрузкой на мелкой воде проведен в [6].

1. Пусть на поверхности однородной идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины $H = \text{const}$ плавает тонкая упругая равномерно сжатая пластинка. По пластинке перемещается с постоянной скоростью v область давления

$$(1.1) \quad p = p_0 j(x_1, y), \quad x_1 = x + vt, \quad v = \text{const}.$$

Рассмотрим возбуждаемые при этом изгибно-гравитационные колебания пластинки и волновые возмущения жидкости в ближней зоне области давлений.