

Расчет показателей трещины, появившейся на пластине

Приходько Себастьян Николаевич

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью данного исследования является проведение расчетов характеристик трещины и их анализ. Используются поисковые, аналитические и сравнительные методы исследования. В результате были выполнены расчёты по определению показателей трещины и проанализированы полученные данные.

Ключевые слова: строительство, расчет, трещины, материалы, напряжение, расхождение, длина, циклы.

Calculation of indicators of a crack that appears on a plate

Prikhodko Sebastian Nikolayevich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to calculate crack characteristics and analyze them. Search, analytical and comparative research methods were used. As a result, calculations were performed to determine crack indicators and the obtained data were analyzed.

Keywords: construction, calculation, cracks, materials, stress, discrepancy, length, cycles.

1. Введение

Вопросы, связанные с ростом трещин в материалах, продолжают оставаться одной из центральных проблем в области механики материалов и конструкции. Возникновение и прогрессирование трещин в материале оказывают значительное влияние на его механические характеристики, включая прочность, жесткость и способность противостоять внешним нагрузкам. Именно трещины, даже на самых ранних стадиях их образования, могут существенно ослабить структуру и привести к снижению эксплуатационных характеристик материалов и конструкций в целом (рис.1).



Рисунок 1. Ослабление несущих характеристик жилого здания

Особенно важным является изучение процессов, происходящих на микроскопическом уровне, поскольку именно здесь начинается развитие макротрещин, которые могут стать причиной катастрофических разрушений.

Таким образом, рост трещин является важным индикатором долговечности конструкций, а также ключевым аспектом для прогнозирования их срока службы. Оценка скорости и механизма распространения трещин, а также понимание того, как различные материалы сопротивляются этому процессу, позволяют повысить надежность и безопасность конструкций, что особенно важно в тех сферах, где даже малейшее повреждение может привести к серьезным последствиям.

В статьях А.И. Сладковой и Т.И. Левковича, З.А. Мевлидинова, Ф.Н. Левковича, К.В. Макеенко исследуются трещины и причины их появления в строительных сооружениях [1, 2]. В публикациях Т.Т. Мусабаева, К.М.Жансеитовой и Ш.С. Хубежты проводятся расчеты характеристик трещин [3, 4]. В работе Е.А. Чижмакова определяется и анализируется вероятность возникновения трещин [5].

Целью исследования является проведение расчетов характеристик трещины и их анализ.

В работе были выполнены расчёты по определению показателей трещины и проанализированы полученные данные.

2. Микротрещины и факторы их роста

В процессе нагружения материала возникает целый ряд сложных физических процессов, среди которых одно из наиболее важных явлений — это развитие микротрещин (рис.2). Эти микротрещины могут расти с различной скоростью в зависимости от множества факторов.



Рисунок 2. Микротрещины на бетонных полах

В частности, их рост может быть ускорен за счет направленности скольжения в соседних зернах материала, что способствует более быстрому распространению трещины в тех областях, где существует согласованность в направлении напряжений. Такой механизм часто наблюдается в металлических и других высокопрочных материалах, где межзерновая граница может быть особенно уязвима к воздействию внешних нагрузок.

Важным аспектом является то, что не только механические свойства материала, но и его структура, условия внешней среды и уровень напряженности оказывают влияние на скорость развития трещин.

Например, агрессивные внешние воздействия, такие как высокая температура, химическая активность среды, влажность или наличие загрязняющих веществ, могут значительно ускорить процесс разрушения.

Таким образом, для каждого конкретного случая необходимо учитывать все эти факторы в комплексе, чтобы точно предсказать развитие трещин и потенциальные последствия для долговечности материала.

3. Методы расчета трещин

Для оценки долговечности материала и предсказания времени, когда микротрещины могут перерасти в макротрещины, применяются различные методы расчета. Одним из наиболее распространенных методов является использование силового или деформационного критерия разрушения, который позволяет на основе экспериментальных данных и теоретических моделей предсказать, когда материал потеряет свою способность к дальнейшему сопротивлению внешним воздействиям. Эти критерии основываются на анализе напряженно-деформированного состояния материала, что дает точные данные о его прочности и способности к противодействию разрушению.

Одним из наиболее эффективных инструментов для оценки роста макротрещин является использование аппарата ЛМР (лабораторная механика разрушения), который позволяет наблюдать за развитием трещины в реальном

времени. Данный аппарат измеряет коэффициент интенсивности напряжений (КИН), который является важнейшей характеристикой для понимания того, как растет трещина в материале. КИН позволяет вычислять напряжения в области растрескивания и оценивать, насколько вероятно, что она продолжит свое развитие. Для точной оценки этого процесса часто используется метод конечных элементов (МКЭ), который дает возможность проводить детальный расчет распределения напряжений в материале и предсказать дальнейшее поведение трещины на различных стадиях ее роста.

4. Расчет трещины на пластине

Исходные данные для проведения расчетов:

$$\sigma_{0,2} = 240 \text{ МПа}$$

$$\sigma_0 = 90 \text{ МПа}$$

$$l = 70 \text{ мм} = 0,07 \text{ м}$$

$$\sigma_{1max} = \sigma_0 + 0.25 \cdot \sigma_0 = 112,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{1min} = \sigma_0 - 0.25 \cdot \sigma_0 = 67,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = 0.5 \cdot \sigma_0 = 45 \text{ МПа}$$

$$K_{Ic} = 70 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$$

$$c = 2.73 \cdot 10^{-14}$$

$$m = 3.3$$

$$N = 10^4$$

Перейдем к расчету эффективного коэффициента интенсивности напряжений $K_{эфф}$

$$\sigma_{\varphi max} = \frac{1}{4}(3\sigma_{1max} + \sigma_2) = 95.625 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\varphi max} = \frac{\sqrt{3}}{4}(\sigma_2 - \sigma_{1max}) = -29.2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\varphi min} = \frac{1}{4}(3\sigma_{1min} + \sigma_2) = 61.875 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\varphi min} = \frac{\sqrt{3}}{4}(\sigma_2 - \sigma_{1min}) = -9.73 \text{ МПа}$$

Определим коэффициенты K_I и K_{II}

$$K_{I max} = \sigma_{\varphi max} \sqrt{\pi l} = 95,625 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,14} = 63,4 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

$$K_{I min} = \sigma_{\varphi min} \sqrt{\pi l} = 61,875 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,14} = 41,02 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

$$K_{II max} = \tau_{\varphi max} \sqrt{\pi l} = -29,2 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,14} = -19,4 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

$$K_{II min} = \tau_{\varphi min} \sqrt{\pi l} = -9,73 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,14} = -6,45 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

Тогда

$$K_{эффmax} = \sqrt{K_{I\max}^2 + K_{II\max}^2} = \sqrt{63,4^2 + (-19,4)^2} = 66,3 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

$$K_{эффmin} = \sqrt{K_{I\min}^2 + K_{II\min}^2} = \sqrt{41,02^2 + (-6,45)^2} = 41,524 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$$

$$66,3 \leq 70 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}},$$

Условие $K_{эфф} \leq K_{Ic}$ выполняется, следовательно трещина устойчивая

Далее рассчитаем размер пластической зоны в вершине трещины

$$d_0 = \frac{K_{эфф}^2}{2\pi\sigma_{0,2}^2} = \frac{66,3^2}{2 \cdot \pi \cdot 240^2} = 0,014 \text{ м}$$

$$d_0^* = \frac{K_{эфф}^2}{6\pi\sigma_{0,2}^2} = \frac{66,3^2}{6 \cdot \pi \cdot 240^2} = 0,0047 \text{ м}$$

Теперь найдем размеры трещины, подвергшейся 1000 циклов нагружения. Для этого воспользуемся формулой Пэриса-Эрдогана

$$\frac{dl}{dN} = c(\Delta K)^m$$

$$c = 2,73 \cdot 10^{-14}; m = 3,3; \Delta K = K_{I\max} - K_{I\min}$$

Длина трещины после N-ого количества циклов определятся по формуле

$$l = l_0 + \int_0^N c(\Delta K)^m dN$$

Таблица 1. Длина трещины на N-ом цикле нагружения

Цикл нагружения, N	Длина трещины l, м
0	0.14
1000	0,14000078
2000	0,14000156
3000	0,14000233
4000	0,140003
5000	0,14000389
6000	0,14000467
7000	0,14000544
8000	0,14000622
9000	0,14000700
10000	0,14000777

Проанализировав данные (табл. 1), можно утверждать, что трещина медленно распространяется в пределах 10000 циклов нагружения.

5. Заключение

На основе проведенных расчетов и наблюдений можно сделать вывод, что при заданных исходных данных наклонная трещина в рассматриваемом материале устойчива и ее распространение происходит с относительно низкой скоростью. Это означает, что данный материал в условиях текущих нагрузок не подвергается быстрому разрушению, что, в свою очередь, подтверждает его высокую долговечность и надежность в конкретных эксплуатационных условиях.

Таким образом, можно утверждать, что в рассматриваемом случае трещина не будет представлять угрозы для целостности конструкции в ближайший период эксплуатации. Это дает основания для уверенности в долгосрочной стабильности и безопасности конструкции, основанной на данном материале.

Библиографический список

1. Сладкова А.И. Трещины и иные дефекты несущих ограждающих конструкций, вызванные приостановкой строительства при консервации объекта // Европейский форум молодых исследователей. 2019. С. 391-395. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41260078>
2. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Левкович Ф.Н., Макеенко К.В. Исследование причин возникновения трещин в монолитных бетонных покрытиях дорожных одежд // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. №4. С. 28-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25599999>
3. Мусабаев Т.Т., Жансеитова К.М. Методы расчета пологих оболочек и пластин с учетом трещин // Наука и техника Казахстана. 2003. №3. С. 140-151. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35593956>
4. Хубежты Ш.С. К Расчету напряжений и смещений в некоторых задачах теории трещин // Порядковый анализ и смежные вопросы математического моделирования. 2013. С. 158-159. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22415160>
5. Муслов С.А., Панин С.В., Арутюнов С.Д., Никищенко А.Н., Чижмаков Е.А. Расчет вероятности зарождения крупных трещин методом фазового поля // Физическая мезомеханика. материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии. 2024. С. 270-271. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=72652294>