

УДК 691.3

БАЗОВЫЕ КОНЦЕПТЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ



BASIC CONCEPTS OF FRACTURE MECHANICS

Петренко Даниил Александрович

студент,
Кубанский государственный аграрный университет
daniil.ptrn@yandex.ru

Petrenko Daniil Alexandrovich

Student,
Kuban State Agrarian University
daniil.ptrn@yandex.ru

Аннотация. В статье раскрываются понятие и базовые концепты механики разрушения, рассматриваются виды дефектов и трещин, параметры и особенности усталостного и хрупкого разрушений.

Annotation. The article reveals the concepts and basic concepts of fracture mechanics, considers the types of defects and cracks, parameters and features of fatigue and brittle fracture.

Ключевые слова: механика разрушений, сопротивление материалов, трещина, дефект, напряжение, сварка.

Keywords: fracture mechanics of materials, strength of materials, crack, defect, stress, welding.

Механика разрушения занимается изучением распространения трещин в материалах. Принципы напряжения, деформации, упругого поведения и пластического поведения применяются для понимания образования и роста трещин из-за дефектов и дефектов, обнаруженных в материалах. Сила, распространяющая трещину, сравнивается с сопротивлением материала разрушению.

Механика распространения и роста трещины сложна, поскольку в анализ необходимо включить упругое и пластическое поведение. Для оценки трещин используются математические модели, такие как линейная механика упругого разрушения, раскрытие трещин и интегральные подходы с использованием анализа методом конечных элементов.

Если в конструктивном элементе присутствует острый дефект или трещина может произойти неэластичное разрушение, даже если материал способен к большим пластическим деформациям. Разрушение происходит, когда концентрация напряжений и деформаций, примыкающих к дефекту, достаточна для преодоления энергоемкости внутренней деформации.

Анализ трещин в твердых телах известен как механика разрушения. Наличие трещины или дефекта влияет на напряжение в компоненте, которое количественно определяется коэффициентом интенсивности напряжения.

Сопротивление материала разрушению известно как вязкость разрушения, которое представляет собой свойство материала, определяемое испытаниями.

Компонент может сопротивляться воздействию трещины или дефекта, если вязкость разрушения материала больше, чем коэффициент интенсивности напряжения.

Фундаментальной проверкой является то, что ударная вязкость материала превышает интенсивность напряжения. Это может быть выражено как:

$$K_{IPII} \leq K_{IIV} \quad (1)$$

где K_{IPII} – коэффициент интенсивности приложенного напряжения; K_{IIV} – мера ударной вязкости материала в совместимых единицах.

Эта фундаментальная взаимосвязь преобразована в еврокоде, чтобы обеспечить возможность проверки на основе температуры T , так что:

$$T_{r\pi} \geq T_{rc} \quad (2)$$

где индексы «рэ» и «рс» обозначают «расчетный эффект» и «расчетное сопротивление» соответственно.

Коэффициент интенсивности напряжения K можно представить в следующем основном виде:

$$K = Y \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi a}, \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}, \quad (3)$$

где Y – функция геометрии стержня и конфигурации трещины; σ – равномерное напряжение на площади брутто; a – длина трещины.

Выражение для коэффициента интенсивности напряжения может быть изменено, чтобы учесть дополнительные эффекты, такие как пластичность и остаточное напряжение.

Механика разрушения обычно рассматривает трещину эллиптической или полуэллиптической формы.

Рассматривая эллиптическую трещину в пластине, как показано на рисунке 1, можно показать, что:

$$\frac{\sigma_1}{T} = 1 + \frac{2a}{b}, \quad (4)$$

где σ_1 – напряжение на вершине эллипса; T – приложенное растягивающее напряжение к сечению брутто; a – половина размера большой оси эллипса; b – половина размера малой оси эллипса.

По мере того, как эллипс становится все более «плоским» и все более похожим на трещину, b становится большим, а при стремлении размера b к нулю напряжение в вершине трещины стремится к бесконечности. Ситуация усложняется перераспределением напряжений на конце рейки, так как материал ведет себя пластично. Теоретического бесконечного напряжения можно избежать за счет текучести и нелинейной деформации.

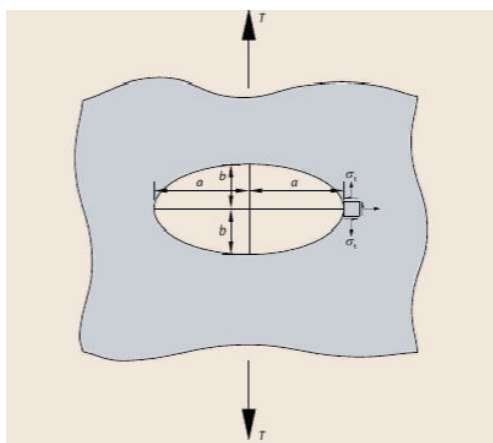


Рисунок 1 – Эллиптическая трещина в пластине

Однако основной принцип, проиллюстрированный на рисунке 1, ясен: если приложенное напряжение достаточно велико, трещина может внезапно вырасти (со скоростью, близкой к скорости звука), без существенного пластического поведения и привести к хрупкому разрушению.

Хотя хрупкое разрушение обычно связано с трещинами, любой тип дефекта может вызвать трещину. Дефекты считаются неизбежными в результате сварки и изготовления, при этом эффект любого дефекта усиливается несоосностью, плохим профилем сварного шва и приложенным напряжением.

Ожидается, что в конструкциях, подверженных усталости, начальная трещина будет увеличиваться в размерах из-за повторяющихся циклов приложенного напряжения. Рост трещины зависит от величины цикла напряжения и не является линейным; скорость роста трещин увеличивается со временем.

При оценке коэффициента интенсивности напряжений важен размер «расчетной» трещины, т.е. размер трещины после ее роста в результате циклического приложения напряжения. Если нет циклического приложения напряжения, важен размер начального несовершенства.

Форма сварного шва влияет на коэффициент концентрации напряжений просто из-за резкости изменения поперечного сечения. Как видно на рисунке 2, изменение поперечного сечения более резкое при угловом сварном шве, чем при стыковом.

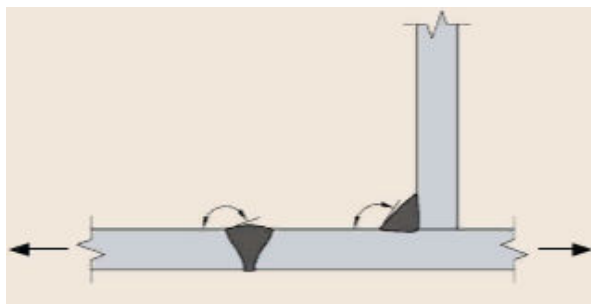


Рисунок 2 – Поперечное сечение при угловом и стыковом сварных швах

Усталостное разрушение, как правило, медленное, со значительным пластическим поведением. Напротив, хрупкое разрушение происходит быстро при уровне напряжения ниже предела текучести материала. Хотя усталостное растрескивание не обязательно для инициирования хрупкого разрушения, начальные дефекты усиливаются из-за любого циклического напряжения, за которым затем может последовать хрупкое разрушение.

Литература

1. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Методика определения сопротивления замедленному разрушению стальных деталей с концентраторами напряжений // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 3. – С. 43–48.
2. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Оценка факторов, влияющих на микромеханизм замедленного разрушения стали с помощью метода конечных элементов // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 1913–1915.
3. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Разделение силовой и термоактивационной компонент разрушения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 11. – С. 104–105.
4. Определение напряженно-деформированного состояния стали при усталостном разрушении / А.А. Шиховцов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 2. – С. 148–152.

Literature

1. Shikhovtsov A.A., Mishin V.M. Method for determining the resistance to slow fracture of steel parts with stress concentrators // Modern Science-Intensive Technologies. – 2013. – № 3. – P. 43–48.
2. Shikhovtsov A.A., Mishin V.M. Evaluation of factors affecting the micromechanism of delayed steel fracture using the finite element method // TSU Vestnik. – 2013. – Vol. 18. – Iss. 4. – P. 1913–1915.
3. Shikhovtsov A.A., Mishin V.M. Separation of the force and thermoactive components of fracture // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2011. – № 11. – P. 104–105.
4. Determination of the stress-strain state of steel during fatigue fracture / A.A. Shikhovtsov [et al.] // Modern Science-Intensive Technologies. – 2019. – № 2. – P. 148–152.