

$$\sin(\alpha - \varphi) = \sin\varphi \sin^2\beta / \cos\beta = \sin\varphi \operatorname{tg}^2\beta / \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2\beta}. \quad (9)$$

Если начальная скорость $v = v_n = 0$, то по уравнению (7) определим максимальное ускорение $(dv/dt)_{\max} = g \sin\alpha(1 - f / \operatorname{tg}\alpha) = g \sin(\alpha - \varphi) / \cos\varphi$.

Через некоторое время ускорение уменьшится до нуля, что определит его наименьшую величину $(dv/dt)_{\min} = 0$.

Для определения высоты правильного усечённого конуса H примем приближённо, что структурные элементы имеют наибольший коэффициент трения и движутся со скольжением по наклону с углом α со средним постоянным ускорением $asr = (dv/dt)sr = g \sin(\alpha - \varphi) / 2\cos\varphi$.

Длина пути S по наклонной плоскости, содержащей образующую конуса, определяется по известной формуле $S = v^2 / 2asr = g \sin(\alpha - \varphi) / 2\cos\varphi$, а высота конуса будет $H = S \sin\alpha$. Подставив значение величин вместо S и v^2 из формулы (8), получим $H = \rho_i \sin\alpha / f \sin\beta$. Высота конуса, определённая по этой формуле, является наименьшей. Это говорит о том, что структурные элементы, перемещаясь по поверхности конуса с увеличивающейся относительной скоростью v , всё время удаляясь от оси конуса, покинут её [1].

Если принять для структурных элементов структурного тела коэффициент трения $f = 0,3$, угол трения $\varphi = 17^\circ$, то при движении с относительной скоростью $v = 1 \text{ м/с}$ при $\rho_i = R = 0,2 \text{ м}$ от оси конуса, надо производящую конуса расположить под углом β , который определяется по формуле (1) $\operatorname{tg}\beta = v^2 / gR = 1 / 9,81 \cdot 0,2 = 0,509$, что соответствует углу наклона $\beta = 27^\circ$.

Угол α подъёма спирали определяется по формуле (9), подставив значения углов, получим $\sin(\alpha - \varphi) = 0,067$, что соответствует $(\alpha - \varphi) = 3^\circ 50'$. Отсюда $\alpha = 17^\circ + 3^\circ 50' = 21^\circ$.

Следовательно наименьшая высота конуса при этих значениях углов будет

$$H = R \sin\alpha / f \sin\beta = 0,2 \cdot \sin 21^\circ / 0,3 \cdot \sin 27^\circ = 0,53 \text{ м}$$

Из этого следует, что все структурные элементы структурного тела отвечают условию, когда они плотно прилегают друг к другу, и в следующий момент времени t_2 будут вытолкнуты за пределы конуса. Чтобы это явление ограничить, необходимо к конусу со стороны большего диаметра присоединить кольцо цилиндрической формы. Высота H конуса может быть уменьшена за счёт определения точки на конусе, в которую должны поступать структурные элементы по приведенным расчётным формулам. Для этого со стороны меньшей окружности конуса устанавливается дополнительное приспособление [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая энциклопедия. Под ред. Виноградова И.М. // М.: Советская энциклопедия. – Т.2. – 1979. – С.575 - 589, -- Т.5. – 1985. – С.435-446.
2. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. // Градштейн И.С., Рыжик И.М. – М.: Наука. – 1971. – 1108 с.
3. Протасеня М.Л., Ларченков Л.В. Способ и устройство для рассева сыпучих материалов по поверхности поля. Патент 6659 РБ. // М.Л. Протасеня, Л.В. Ларченков. – Минск. – 2004. – 5 с.

УДК 539.3

Чигарев А.В., Шукевич Т.В., Ручан М.В.

ОЦЕНКА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СМЫКАНИЯ БЕРЕГОВ ТРЕЩИНЫ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ТРУБЫ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Метод заключается в создании пластического слоя в трубе, за счет концентраторов напряжений (микротрещин). В результате дислокации начнут свое движение. Вследствие чего материал этого слоя уплотнится и берега трещины сомкнутся.

Постановка задачи

Трубы, работающие под внутренним давлением, в процессе эксплуатации накапливают в поверхностном слое трещины. Проблема продления срока службы трубопроводов состоит в том, чтобы разработать методику залечивания поверхностных трещин.

Методика залечивания поверхностных трещин

Прежде всего, необходимо оценить степень поврежденности рубы, используя параметр трещиноватости слоя. Определить, находится ли этот слой в докритическом состоянии, не приведет ли увеличение внутреннего давления в трубе к росту трещин и последующему разрушению.

Внешний слой трубы 3 является трещиноватым, обладает рядом эффективных упругих и пластических свойств, а также сжимаемостью (рис. 1).

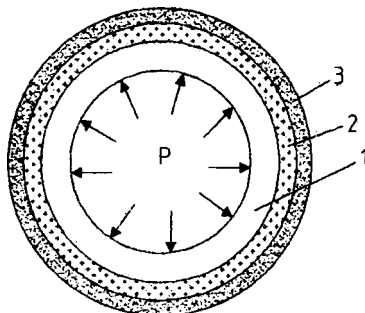


Рис. 1 – Труба под действием внутреннего давления

Внутренним давлением вводим внешний слой трубы 3 в пластическое состояние, так, чтобы зона пластичности охватывала трещины по всей длине.

В слое 2 содержится высокая концентрация дислокаций. Которые, при введении трещиноватого слоя в состояние ползучести, начнут движение к устью трещины. Вследствие чего материал этого слоя уплотнится, т.е. займет меньшую площадь. После того, как необходимое для закрытия трещин количество дислокаций выйдет на поверхность, снимаем нагрузку. Закрытие трещин будет осуществляться под действием стягивающих напряжений, возникших в результате уменьшению радиуса слоя 2.

Предположения

Площадь трещиноватого кольца уменьшится на суммарную площадь трещин. То есть на поверхность выйдет такое количество дислокаций, суммарная площадь которых равна по величине суммарной площади трещин.

Скорость дислокаций непрерывна.

Интенсивность деформаций ползучести определяется степенным законом.

Определение временных параметров для одной трещины

Рассмотрим поверхностную трещину, имеющую незначительное раскрытие. Моделью данной трещины является тонкий разрез. Взаимодействие берегов трещин, отстоящих друг от друга, пренебрежительно мало, при этом считают, что поверхность свободна от напряжений. В устье трещины, где раскрытие берегов меньше некоторого Δ , интенсивно действуют молекулярные (или атомные) силы притяжения. Эти силы принимаются равными некоторой постоянной величине σ_0 , близкой по значению пределу прочности материала. При смыкании берегов до некоторого расстояния Δ , трещина под действием молекулярных сил мгновенно срастается, и ее длина уменьшается.

Материал в окрестности трещины находится в пластическое состояние $f(\sigma_{ij})=0$, причем считаем, что материал сжимаем, т.е. зависит от первого инварианта, в первом приближении не зависит. Движение дислокаций происходит под действием напряжений чистого сдвига по направлениям линий скольжения (рис. 2).

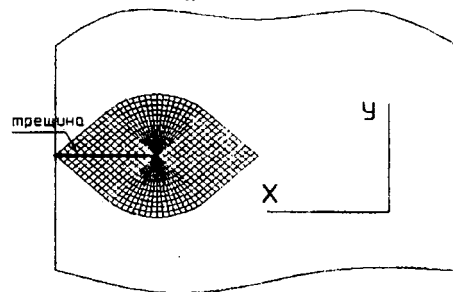


Рис. 2 – Линии скольжения

Вдоль линии α направлена скорость U , а вдоль линии β – скорость V . Примем, что скорость дислокаций величина постоянная в данном материале, причем $V_{длс} = V = U$, следовательно, результирующая скорость движения дислокации направлена по вертикальной оси. Интенсивность деформаций ползучести определяется степенным законом

$$\dot{\epsilon} = B_1 \cdot \sigma^m$$

где B_1 , m – постоянные, характерные для данного материала (B_1 – коэффициент ползучести, m – показатель ползучести)

Таким образом, скорость накопления дислокаций на поверхности трещины прямо пропорциональна напряжению. В свою очередь напряжение в окрестности вершины трещины обратно пропорционально расстоянию, отсчитываемому от вершины

$$\sigma = \frac{K_1}{4 \cdot \sqrt{2\pi \cdot r}}$$

где K_1 – коэффициент интенсивности напряжений для трещин I-го типа, зависящий от формы и размеров тела, схемы нагружения.

Для определения времени накопления дислокаций, необходимых для закрытия одной трещины, воспользуемся следующей методикой. Будем считать, что дислокация условно представляет собой некоторое материальное тело с условной площадью. Следовательно, для закрытия трещины необходимо определенное количество дислокаций, суммарная площадь которых будет равна площади трещины. Построив для данного вида трещины поле скольжения с необходимой частотой линий, разделим берег трещины на количество n равных отрезков, соответствующее выбранному шагу (рис. 3).

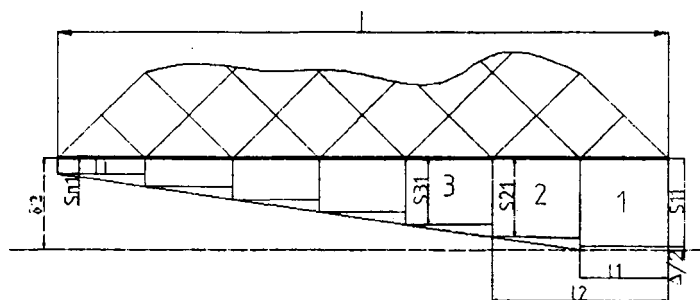


Рис. 3 – Расчетная модель половины трещины областей S_{ji} , где i – номер области, j – индекс времени, за которое произошло перемещение области

Трещина имеет длину l , тогда $l_1 = \frac{l}{n}$, $l_n = \frac{l}{n} \cdot (\sum_1^n 1^n)$. Величина $\Delta/2$ определяет половину расстояния между берегами, на котором начинают действовать молекулярные силы притяжения. Следовательно, берег трещины должен сомкнуться на расстояние $S_{11} = \frac{\delta}{2} - \frac{\Delta}{2}$, где $\frac{\delta}{2}$ – половина раскрытия берегов трещины. Поскольку скорость накопления дислокаций на поверхности, а, следовательно, и скорость смыкания берегов в области 1 больше, чем в области 2, то за равный промежуток времени t_1 трещина сомкнется на расстояние S_{11} в области 1 и на расстояние S_{21} в области 2, причем $S_{11} > S_{21}$. Тогда

$$t_1 = \frac{S_{11}}{V_{11}} = \frac{S_{21}}{V_{21}} \Rightarrow S_{21} = \frac{S_{11} \cdot B_1 \left(\frac{K_1}{4\sqrt{2\pi \cdot 2l}} \right)^m}{B_1 \left(\frac{K_1}{4\sqrt{2\pi \cdot l}} \right)^m} = S_{11} \cdot 2^{-m/2}$$

где V_{11} , V_{21} скорости смыкания первой и второй области соответственно при длине трещины равной l .

Для уменьшения длины трещины на величину l_2 , необходимо, чтобы берега трещины в области 2 переместились на расстояние $S_{21} + S_{22}$ за время t_2 (рис. 4). Причем при изменении длины изменится K_1 , следовательно, необходимо произвести перерасчет напряжений в окрестности трещины при новой длине трещине и нагрузке.

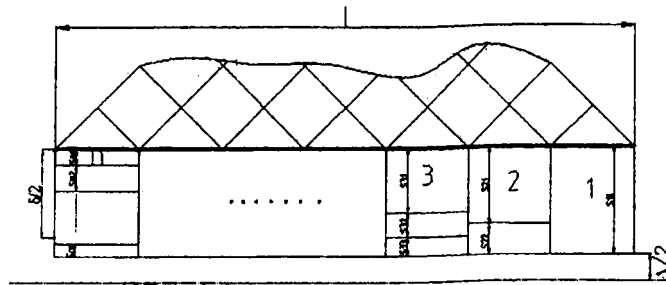


Рис. 4 – Движение областей берега трещины с течением времени

Тогда

$$S_{22} = S_{11} - S_{21} = S_{11} - S_{11} \cdot 2^{-m/2},$$

$$t_2 = t_1 + \frac{S_{22}}{B_1 \cdot \sigma_{i2}^m},$$

где σ_{i2} - напряжения в области 2 при длине трещины ($l-l_1$)

Выполняя аналогичные действия для каждой области, найдем время закрытия трещины:

$$t_n = \sum_{k=1}^n \frac{S_{kk}}{B_1 \cdot \sigma_{ik}^m}, \text{ где}$$

$$S_{kk} = S_{ll} + \sum_{p=1}^{k-2} ((-1)^p \cdot S_{pp} (k - (p - 1)))^{-m/2} - S_{(k-1)(k-1)} \cdot 2^{-m/2}, k=(3...n), k, n \in N$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов Л.М. Теория ползучести// Физматгиз. – 1960. – С. 20

УДК 539.4:620.2+519.621.64

Ширвель П.И., Кулак Т.И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДА АЭС

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Проведена постановка задачи об упруговязкопластическом деформировании длинных полых тел цилиндрической геометрии при квазистатическом нагружении. Разработана механико-математическая модель процесса деформирования. Получены разрешающие выражения для определения напряженно-деформированного состояния трубопровода в перемещениях. Рассмотрена схема и пример расчета для отрезка трубопровода главного циркуляционного контура АЭС.

Как известно, соединение между собой отдельных агрегатов любой атомной электростанции (АЭС) требует большого числа трубопроводов. Поэтому трубопроводы занимают центральное место в проблеме ресурса эксплуатации. Кроме главных, существует большое количество вспомогательных трубопроводов различных диаметров и назначений. Эти элементы являются наиболее многочисленной группой конструкции энергоблока (общая протяженность трубопроводов на АЭС достигает несколько километров). Учитывая то обстоятельство, что по трубопроводам проходит радиоактивная среда, очевидно, что проектированию и расчетам на прочность трубопроводов АЭС должно уделяться большое внимание. От надежности их эксплуатации во многом зависит безотказная и безопасная работа всей