УДК 620.192.6

Теоретическое исследование поведения микронеоднородностей при гидростатическом нагружении образцов

М.В. Салыкина, А.А. Быков

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Существуют материалы, образованные при затвердевании после фазового перехода. В них можно наблюдать некоторое количество пузырьков. Изначально они возникают в жидкости и наполнены паром самой жидкости, а также растворенными ранее газами из жидкости. При остывании вокруг пузырька образуется твердый материал, после чего он не может всплыть и остается внутри материала. Кроме того, давление насыщенных паров уменьшается, и газ частично оседает на стенки пузырька, уменьшая давление внутри него.

При гидростатическом сжатии образцов, содержащих пузырьки, объем последних изменяется мало, и давление газа в них остается практически постоянным. В таких случаях давление внутри пузырька не равно приложенному [1, 2].

Вследствие описанных выше эффектов возможно возникновение рядом с пузырьком напряжений [3], достигающих предела текучести материала. Основной целью данной работы является определение напряженного состояния для анизотропного линейно-упругого материала рядом с пузырьком и размера зоны вокруг пузырька, где выполняются условия текучести материала.

Рассматривается задача статического равновесия изотропного линейно-упругого материала в сферических координатах, начало которых расположено в центре пузырька. Радиус пузырька равен R. Модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν материала считаются известными. Предел его прочности на растяжение и сжатие равен σ_T и при достижении соответствующих напряжений он считается идеально-пластическим. Также считается, что каждая точка тела перемещается вдоль радиуса, и необходимо рассматривать только функцию перемещений $U(r)$. Для граничных условий принято, что при $r = R$ $\sigma_{rr} = 0$, а при $r \to \infty$ $\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{rr} = -P_a$, то есть обжимающему материал давлению. Так как задача сферически симметричная, то целью работы является определение радиуса R_2 вокруг пузырька, на котором выполняется условие текучести материала.

Для решения задачи запишем уравнение статического равновесия в виде:

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{2}{r}\left(\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}\right) = 0$$

При радиусах, меньших R_2, выполняется условие:

$$\left|\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}\right| = \frac{\sigma_T}{2}$$

При $r = R_2$ требуется удовлетворить условие равенства напряжений в упругой и пластической зонах. При решении поставленной задачи получено выражение радиуса пластической зоны R_2.

$$R_2 = \mathrm{R} \cdot \mathrm{e}\,xp\left(\frac{P_a}{\sigma_T} + \frac{3\nu - 1}{2(1 - 2\nu)}\right)$$

Из полученного выражения видно, что для почти несжимаемых материалов (ν примерно равно 0,5) радиус пластической зоны значителен, и для таких материалов наличие объемных дефектов внутри невозможно.

Видно, что при увеличении P_a R_2 растет. При достижении $R_2 > n^{-1/3}$, где n-количество дефектов в единице объема, пластические зоны рядом находящихся пузырьков пересекаются, что приводит к нарушению симметрии и возникновению необратимых пластических деформаций.

До тех пор, пока расстояние между пузырьками существенно больше размера их пластических зон, они не уменьшаются в объеме. Это можно объяснить тем, что на границах пластических зон нет необратимых деформаций, и это сохраняет количество материала в каждой зоне, и, соответственно, пузырек не уменьшается в размерах.

На основе полученного результата также можно объяснить эффекты возникновения пластических деформаций в материалах, содержащих объемные дефекты, даже при гидростатическом обжатии, когда отсутствуют сдвиговые напряжения.

Литература

1. *Лурье А. И.* Пространственные задачи теории упругости. – М.: Технико-теоретической литературы, 1955. – 493 с.
2. *Лурье А. И.* Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 939 с.
3. *Амензаде Ю. А.* Теория упругости. – М.: Высшая школа, 1976. – 272 с.