Доклады Академии Наук СССР
1954. Том XCIX, № 5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. В. МИХАЙЛОВ

УПРУГОЕ РАССЛАБЛЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 13 IX 1954)

Исследования структурно-механических свойств упруго-пластично-вязких материалов в процессе циклического деформирования, т. е. при наложении пульсирующих напряжений, представляют значительный практический и теоретический интерес. Исследования структурных изменений в материале при пульсирующем нагружении позволяют установить механизм усталостного разрушения коагуляционно-кристаллизационных структур ([1]).

Кинетика развития и спада деформаций практически чистого однородного сдвига в узком зазоре между двумя коаксиальными цилиндрами при наложении пульсирующих напряжений исследовались на электронно-сельсинном эластовискозиметре. На этом приборе при помощи осциллографической записи регистрировалось время, напряжение с отметками моментов его наложения и снятия, а также развитие и спад деформаций. При помощи электрического пульсатора автоматически, по заранее установленным величине цикла и времени нагруженного состояния внутри этого цикла, накладывались заданные напряжения сдвига.

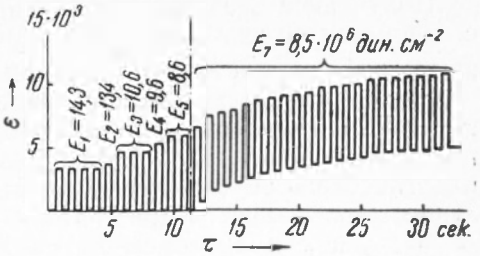


Рис. 1. Кинетика развития и спада деформаций при наложении пульсирующего напряжения ($P = 51 \cdot 10^3$ дин·см$^{-2}$) на отвердевающую цементную пасту из высокоалюминатного цемента через 280 мин. от начала затворения

Для исследования была взята система со слабой структурой — отвердевающая цементная паста, приготовленная по принятому стандарту из высокоалюминатного цемента завода «Гигант» при водоцементном отношении В/Ц = 0,50, в возрасте 280 мин. от начала затворения.

В этот период структурообразования ([2], [3]) в данной цементной пасте имеется коагуляционная структура, образованная пептизированными частицами цементных зерен и гидратов (новообразований), пронизанная жестким кристаллическим каркасом из кристаллов, образовавшихся в результате протекающего на фоне коагуляционной структуры кристаллизационного процесса.

Пульсирующее напряжение $P = 51 \cdot 10^3$ дин · см$^{-2}$ накладывалось на систему циклами длительностью в 1 сек. Время действия напряжения, так же как и отдыха системы внутри цикла, соответствовало 0,5 сек.

Полученная кривая кинетики деформации $\varepsilon(\tau)$ представлена на рис. 1. Из кривой видно, что под действием пульсирующих напряжений

упругая деформация постепенно увеличивается; при этом она полностью снимается при снятии напряжения. Первые 4 цикла пульсирующих напряжений не внесли изменений в структуру системы, модуль упругости на сдвиг в этом случае оставался $E = 14{,}3 \cdot 10^6$ дин $\cdot$ см$^{-2}$. С 5-го цикла началось падение модуля сдвига. Только с 12-го цикла появляется остаточная деформация, которая с каждым последующим циклом постепенно увеличивается, что свидетельствует о развитии в системе пластического течения типа ползучести, продолжающегося до конца опыта, т. е. до 32-го цикла.

Необходимо отметить, что в процессе пластического течения модуль сдвига $8{,}5 \cdot 10^6$ дин $\cdot$ см$^{-2}$ остается неизменным.

Эффективная вязкость этого пластического течения определяется по действующему напряжению $P = 51 \cdot 10^3$ дин$\cdot$см$^{-2}$ и остаточной деформации, натекшей за время пребывания системы под нагрузкой. Время пребывания системы под нагрузкой подсчитывается как произведение числа циклов с начала течения на время действия нагрузки в каждом цикле. При остаточной деформации в нашем случае $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-3}$, $\tau = 20 \cdot 0{,}5 = 10$ сек., скорость развития относительной деформации сдвига $\dot{\varepsilon} = 5 \cdot 10^{-4}$ сек.$^{-1}$, а эффективная вязкость системы $\eta = \frac{P}{\dot{\varepsilon}} \approx 10^8$ пуаз.

Предел текучести $P_к$ для этой цементной пасты, определенный по кинетике развития деформации при наложении постоянных заданных напряжений сдвига при P, лишь немного превышающих $P_к$, составляет $P_к = 28 \cdot 10^3$ дин$\cdot$см$^{-2}$. Тогда для этой области наибольшая пластическая вязкость будет

$$\eta_{l0}^{*} = \left[\frac{P - P_к}{\dot{\varepsilon}}\right]_{P \to P_к} = 4{,}6 \cdot 10^7 \text{ пуаз.}$$

Полученное значение наибольшей пластической вязкости хорошо согласуется со значением η_{l0}^{*}, полученным по методике кинетики развития деформаций при постоянном напряжении сдвига ([2,3]) (рис. 1).

Весьма интересно обнаруженное нами в этом исследовании упругое расслабление структуры, связанное с явлением усталостной прочности и составляющее часть механизма этого явления. До начала пластического течения данная система претерпевает упругое расслабление, выражающееся при повторяющихся по величине пульсирующихся нагрузках в постепенном снижении модуля упругости на сдвиг.

Исследования изменения структурно-механических свойств под влиянием пульсирующих напряжений были проведены на цементных пастах из высокоалюминатных и низкоалюминатных цементов в различные сроки от начала затворения. Во всех испытаниях наблюдалась область упругого расслабления системы.

Это позволяет выдвинуть следующие предположения:

1. Любая деформация, в том числе и упругая, влечет за собой повреждение структуры системы. Рост упругой деформации под действием циклического наложения постоянного напряжения сдвига происходит, по всей вероятности, за счет развития дефектов и микрощелей при повторяющихся нагружениях. Раскрывшиеся микрощели при снятии нагрузки полностью смыкаются, в связи с чем и не возникают остаточные деформации ([4]).

2. Разрушение структуры системы не является завершающим актом деформации, лавинным процессом, возникающим внезапно, а представляет собой длительный процесс, начинающийся с момента первого нагружения системы, как бы незначительно оно ни было сравнительно с разрушающим. Разрушающий процесс сопутствует каждой, даже самой малой упругой деформации системы. Прорастание микротрещин ускоряется по мере увеличения деформации или от многократного повторного деформи-

рования системы. В заключительной стадии процесс разрушения переходит в лавинный процесс прорастания опасной трещины, завершающийся разрывом тела на две части.

Поступило
24 VI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. А. Ребиндер, Доклад на дискуссии Faraday Society (P. Rehbinder) (Discussion on coagulation), Sept., 1954; П. А. Ребиндер, Е. Е. Сегалова, Природа, № 12 (1952). [2] Н. В. Михайлов, Е. Е. Калмыкова, Колл. журн., № 3 (1954). [3] Н. В. Михайлов, Е. Е. Калмыкова, ДАН, 99, № 4 (1954). [4] П. А. Ребиндер, Сборн. К XXX-летию Великой Октябрьской социалистической революции, Изд. АН СССР, 1, 1947.