

гидроаккумуляторе 11 упадет ниже установленного минимального значения, например, после длительного перерыва в работе, то открывается гидроклапан 20, соединяя гидроаккумулятор 11 с напарной гидромагистралью, что обеспечивает его зарядку до установленной клапаном 20 величины давления рабочей жидкости.

В случае превышения установленной максимальной величины давления рабочей жидкости в гидроаккумуляторе 10, часть ее перетекает через обратный клапан 12 и гидроклапан 13 в гидроаккумулятор 11. При анализе работы предложенного скрепера необходимо иметь в виду, что в транспортном положении ковша контакт путевого выключателя 22 остается разомкнутым независимо от величины амплитуды колебаний ковша. Кроме рекуперации кинетической энергии, предложенное техническое решение обеспечивает уменьшение динамических нагрузок путем демпфирования колебаний, при которых кинетическая энергия движущегося рабочего оборудования и грунта поглощается гидроаккумуляторами. Демпфирующие свойства регулируются с помощью дросселей 8 и 14. При опускании ковша с помощью гидрораспределителя 3 в положение, соответствующее резанию грунта ножом скрепера, упор 23 теряет контакт с путевым выключателем 22, электрический контакт которого замыкает цепь питания электромагнитов управления клапанами 9 и 21. Клапан 9 в этом положении перекрывает гидролинию, сообщающую гидроаккумулятор 10 с полостью подъема гидроцилиндра 2, а клапан 21 сообщает гидроаккумулятор 11 с гидромотором 5 привода шнекового загрузателя. Запасенная в гидроаккумуляторе 11 потенциальная энергия используется для привода шнекового загрузателя, обеспечивающего эффективную загрузку ковша скрепера грунтом.

После окончания набора грунта ковш скрепера приводится с помощью гидрораспределителя 3 в транспортное положение, в котором упор 23 воздействует и удерживает элементы путевого выключателя 22 в исходной позиции, изображенной на рис. 1. В исходную позицию возвращаются и все элементы скрепера.

Таким образом, применение предложенного технического решения обеспечивает снижение затрат энергии за счет рекуперации кинетической энергии колебаний рабочего оборудования скрепера на транспортном режиме и использования этой энергии для привода шнекового загрузателя. Одновременно с экономией энергии обеспечивается снижение динамических нагрузок, действующих на элементы скрепера на транспортном режиме за счет демпфирования колебаний. Это повышает плавность хода и скорость, что дает возможность расширить эксплуатационные возможности скрепера при работе в различных грунтовых и рельефных эксплуатационных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авторское свидетельство № 1484871, кл. E02F 3/64, 9/22.
2. Патент США № 3863367, кл. 37-8.
3. Патент Великобритании № 1527016, кл. E1F.

В.М. ЗВЕРЕВ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИИ МАТЕРИАЛОВ В УЧЕБНОМ КУРСЕ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Предложено изложение в учебном курсе строительного материаловедения вопросов прочности материалов с кинетических позиций в тесной связи с влиянием среды на базе уравнения С.Н. Журкова и теории механически стимулированного гидролиза (МСГ) В.А. Берштейна.

Вопросы прочности и разрушения материалов в учебной дисциплине «Материаловедение» для студентов-строителей традиционно излагаются в термодинамическом аспекте на базе представлений Гриффитса [1]. В то же время, основной проблемой материаловедения является прогнозирование изменения свойств

материалов во времени в процессе эксплуатации с учетом влияния среды, в которой работает материал.

Кинетическая концепция разрушения твердых тел впервые сформулирована С.Н. Журковым. В ее основе - положение о разрушении как процессе, протекающем во времени, и о ведущей роли в нем теплового движения - тепловых колебаний и особенно тепловых флюктуаций. Разрушение обусловлено разрывом наиболее напряженных межатомных связей тепловыми флюктуациями. Долговечность материала τ связана с абсолютной температурой T при постоянном напряжении σ соотношением:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{U_0 - \gamma \sigma}{RT}}, \quad (1)$$

где U_0 - энергия активации процесса разрушения при $\sigma = 0$ (без нагрузки);

γ - показатель концентрации напряжений в нагруженном материале;

τ_0 - предэкспоненциальный множитель, равный периоду колебаний молекул или атомов в твердом теле.

Выражая из уравнения (1) величину σ , получим

$$\sigma = \frac{U_0 - RT \ln\left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)}{\gamma} \quad (1.1)$$

При напряжении σ , равном величине прочности, последнее уравнение может быть интерпретировано как зависимость прочности от длительности приложения нагрузки. Во всех стандартах на прочностные испытания оговаривается скорость приложения нагрузки. Время – один из параметров, определяющих прочность и разрушение.

Из формулы (1.1) следует также, что прочность убывает с повышением температуры. Температура влияет на прочность тем сильнее, чем меньше величина U_0 и чем больше отличается τ от τ_0 .

Коэффициент γ имеет размерность объема и может быть истолкован как объем, в котором происходит разрушение, например, объем, где напряжение превышает теоретическую прочность, т.е. в районе вершины трещины. Именно в вершине трещины химические связи наиболее деформированы.

Физический смысл величины энергии активации процесса разрушения можно пояснить, если привлечь известные из химии представления об энергии активации химических реакций. Процесс разрушения можно представить как химическую реакцию разложения, т.е. разрыва химических связей.

Зависимость константы скорости химической реакции от температуры выражается уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-\frac{U}{RT}}, \quad (2)$$

где U – энергия активации как превышение средней энергии активных молекул, вступающих в реакцию, над средней энергией всех молекул. Энергию активации можно понимать как энергию, необходимую для ослабления старых связей в молекулах, вступающих в реакцию. Для реакций разложения энергия активации приближается к величине энергии связи.

Уравнение Аррениуса совпадает с формулой (1) при $k = 1/\tau$ и $k_0 = 1/\tau_0$, $U = U_0 - \gamma \sigma$.

Первые два равенства общеизвестны (константа скорости реакции и предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса имеют размерность, обратную времени). Новую информацию дает третье выражение: $U = U_0 - \gamma \sigma$. Из него

следует, что энергия активации процесса разрушения тем меньше, чем больше приложенное напряжение. В химии понизители энергии активации (ускорители реакции) называют катализаторами. В данном случае нагрузка играет роль своеобразного катализатора процесса разрушения, предварительно ослабляющего связи между молекулами (атомами, ионами) материала.

Известно, что процесс разрушения твердого материала легче происходит в присутствии жидкой среды. Насыщенные водой материалы имеют меньшую прочность, мокрый помол материала требует меньших затрат энергии, чем сухой и т.п. При выборе материалов и расчетах конструкций снижение прочности материала при увлажнении часто учитывают с помощью эмпирического коэффициента размягчения материала

$$K_{PA3M} = \frac{R_{HAC}}{R_{CYX}}, \quad (3)$$

где R_{HAC} и R_{CYX} - прочность насыщенного водой и сухого материала соответственно. Например, принято, что для каменных материалов фундаментов коэффициент размягчения должен быть не менее 0,8.

Для материала, содержащего капиллярные поры, влияние воды на прочность следует из явлений подъема-опускания жидкости в капиллярах. Скелет твердого тела, поры которого заполнены жидкостью, находится под давлением жидкости. Такая нагрузка на стенки пор ничем не отличается от внешнего напряжения в уравнении (1), т.е. снижает энергию активации процесса разрушения.

Однако понижение прочности твердого тела, контактирующего с водой, оказывается более существенным, чем можно ожидать от влияния капиллярного давления. П.А. Ребиндером еще в 1928 г. был обнаружен эффект адсорбционного понижения прочности. Сущность его заключается в том, что при адсорбции воды или веществ из растворов на материале поверхность "твердое-газ" заменяется границей раздела "твердое-жидкость", соответственно поверхностное натяжение σ_T заменяется межфазным натяжением $\sigma_{ТЖ}$, меньшим по величине. Благодаря уменьшению свободной поверхностной энергии облегчается развитие микротрещин. При раскрытии трещины под нагрузкой, вода сразу же адсорбируется на ее новых стенках, исключая обратный процесс смыкания стенок трещины. Кроме того, Б.В. Дерягиным показано, что тонкие прослойки жидкости между двумя твердыми поверхностями (как, например, в вершине трещины) оказывают на контактирующие твердые фазы расклинивающее давление в силу того, что молекулы жидкости в тонкой пленке находятся в ином энергетическом состоянии, чем в обычной объемной жидкой фазе. Эффект Ребиндера широко используется для уменьшения затрат энергии при дроблении и помоле материалов. Снижение поверхностной свободной энергии становится еще более заметным, если в воде растворены поверхностно-активные вещества.

Объяснение снижения прочности материала в присутствии жидкой среды с помощью эффекта Ребиндера предполагает наличие микротрещин или иных дефектов. Позднее были получены бездефектные материалы - усы, высокопрочные полимеры, композиционные металлические сплавы и др. Обнаружено, что влияние атмосферной влаги и воды на их прочность полностью сохраняется, а иногда и усиливается. В.А. Берштейном разработана теория механически стимулированного гидролиза (МСГ) напряженного материала [2]. Согласно представлениям теории МСГ снижение прочности любого материала под нагрузкой объясняется химической реакцией гидролиза, т.е. взаимодействия его с водой, в том числе с влагой воздуха.

Действительно, большинство твердых тел, материалов самых различных классов содержит на поверхности межатомные связи, потенциально способные к реакции гидролиза. Из связей такого рода в искусственных и природных материалах наиболее распространены следующие: кремний-кислород, углерод-кислород, металл-кислород, металл-галоген и другие.

Даже в том случае, когда материал в объеме не имеет указанных связей, на поверхности его все равно образуются связи элемент - кислород вследствие химической адсорбции кислорода воздуха - поверхностного окисления.

Под реакцией гидролиза подразумевается процесс вида:



т.е. разложение вещества 1 водой. Вещества 2 и 3 содержат радикалы или ионы воды и соответственно радикалы или ионы вещества 1. Следовательно, гидролиз всегда приводит к нарушению первоначальных связей в веществе 1. Энергия активации гидролиза E_0 в 3...5 раз ниже энергии активации U_0 реакций разложения, приводящих к разрушению материала в отсутствие воды. Кроме того, механическое напряжение еще снижает энергию активации. В итоге энергия активации МСГ (под нагрузкой σ) $E = E_0 - \gamma\sigma$ оказывается всегда меньше величины $U = U_0 - \gamma\sigma$ в формуле (1). Другими словами, МСГ протекает легче, чем разрыв связей под нагрузкой в отсутствие воды.

Конечно, элементарные акты МСГ, не вызывают немедленного разрушения материала. Они приводят сначала к возникновению атомно-молекулярных дефектов. Множество последних дают микротрещины. И, наконец, при росте и объединении микротрещин появляется так называемая магистральная трещина - непосредственная причина разрушения.

Теория МСГ объединяет все разрозненные ранее представления о роли химической связи в прочности материалов, о влиянии среды, атомно-молекулярных дефектов и трещин на разрушение. Она дает механизм возникновения трещин. Процесс МСГ универсален: все конструкционные строительные материалы работают в атмосфере воздуха, содержащего пары воды. Принцип химической реакции, имеющей определенную энергию активации и протекающей во времени под нагрузкой, легко распространить и на процессы разрушения материалов в других средах, их коррозии в агрессивных жидкостях или газах.

Таким образом, физико-химические представления о прочности и разрушении материалов позволяют объяснить роль воды (в том числе атмосферной влаги) в процессах снижения прочности и разрушения материалов, открывает возможности количественного подхода к процессам влияния среды (включая коррозионные процессы) на прочность материалов. Указанные вопросы приобретают особое значение в свете нового направления в науке о материалах, названного химическим сопротивлением материалов.

Современная теория химического сопротивления материалов разрабатывается В.И. Соломатовым с сотрудниками [3]. В ней вместо коэффициентов условий работы фигурируют так называемые деградационные функции, которые показывают изменение свойства материала (элемента конструкции) во времени при заданных напряжениях, температурах и концентрациях среды. Деградационные функции могут быть определены экспериментально и аналитически для различных свойств (прочности, жесткости и т.п.) и различных механизмов деградации (например, различных коррозионных процессов).

Учебная дисциплина "Материаловедение" призвана подвести студентов к восприятию химического сопротивления материалов, так, чтобы они могли в дальнейшем рассчитывать конструкции с учетом условий среды, в которой они эксплуатируются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микульский В.Г. и др. Строительные материалы : учебное издание. – М. : АСВ, 2004.
2. Бернштейн В.А. Механодролитические процессы и прочность твердых тел. – Л. : 1987.
3. Соломатов В.И., Селяев В.П., Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. – М. : РААСН, 2001.