

# «УКРЫТИЕ»: ЧТО ПРОИСХОДИТ И ПОЧЕМУ?

МНЕНИЕ УЧЕНОГО



затрагивают надежность и долговечность высокоответственных сооружений, т. е. таких, разрушение которых сопряжено с большими материальными, моральными и социальными потерями (см., напр., А. Комаровский «Аварии и катастрофы - не фатальная неизбежность», газета «Зеркало недели» № 29, июль 1997 г.). В статье описано открытие компрессионно-дилатонной природы твердых тел, исходя из которой делается вывод о том, что состоянием материалов, конструкций и технических сооружений можно управлять, тем самым предотвращая аварии и катастрофы. В этой связи вполне правомерно рассмотреть проблему «Укрытия» с учетом новых теоретических знаний и надежно установленных экспериментальных фактов.

С начала эксплуатации материалы и конструкции

«Укрытия» находятся под воздействием различных по физической природе внешних полей: силовых (технологические, гравитационные, ветровые, снеговые и иные нагрузки), радиационных, тепловых, климатических и других. С течением времени эти воздействия изменяют физико-механические свойства материалов.

Структура материалов и их эксплуатационные свойства целиком определяют следующие параметры АМ-связей: ориентация в пространстве, удельная концентрация в объеме, форма, размеры и, самое главное, тип сил связи. В реальном мире ориентационные процессы проявляются в виде деформаций, изменение их удельной концентрации приводит к зарождению и развитию трещин, а переход одного типа связей в другой сопровождается фазовыми превращениями и сменой знака внутренних напряжений. Они бывают двух типов - растягивающие и сжимающие. В материаловедении их не совсем точно называют остаточными. Современная наука и инженерная практика основное внимание уделяют процессам деформирования и трещинообразованию, считая именно их ответственными за надежность и долговечность. Это означает, что изучается следствие, а не причина разрушения, которая пока скрыта от внимания исследователей. Причина же кроется в фазовых изменениях структуры. При этом смена знака внутренних напряжений зачастую не сопровождается изменением химического состава материала, а потому инструментально (а тем более визуально) не различима. В недооценке роли фазовых превращений, в корне изменяющих характер несущей способности материалов, кроется первая ошибка традиционных представлений о природе прочности. Она может приводить к внезапному и на первый взгляд случайному отказу конструкций. Поясним причину этого явления.

Опыт показывает, что избавиться от остаточных напряжений практически невозможно. В любом материале всегда можно найти области (вплоть до АМ-размеров), где действуют напряжения того или иного знака. Это происходит от того, что его АМ-связи могут находиться в двух принципиально различных состояниях: компрессионном (т. е. поджатом) или дилатонном (т. е. изначально растянутом).

Структура любого тела соткана из компрессионных и дилатонных. От их соотношения в данный момент времени зависит его деформативность и прочность при сжатии и растяжении. К компрессионному типу относятся металлы и сплавы, а к дилатонному - естественные камни, бетоны, керамика и др. Во внешних полях, которые действуют в зоне «Укрытия», с течением времени материалы и конструкции не только деформируются с возможным появлением трещин (за этим процессом принято обычно наблюдать), но одновременно в их структуре изменяется компрессионно-дилатонное соотношение. Причем, металлические материалы и бетон ведут себя в этих условиях по-разному. Если первые могут легко переходить из одного состояния в другое при изменении параметров внешних полей, то вторые - нет. В результате металлы охрупчиваются, а бетоны растрескиваются. Возможно, при неблагоприятном стечении обстоятельств они перестанут удовлетворять эксплуатационным требованиям, что повлечет за собой внезапный отказ конструкций. Инженерная

практика знает тому достаточное количество примеров. Фазовые превращения, так же, как и процессы деформирования и трещинообразования, сравнительно легко определяются при помощи неразрушающих методов исследования.

Следующее предостережение связано с массой материала, заложеной в конструкцию. Ее влияние на прочность, надежность и долговечность не однозначно. С одной стороны, увеличение массы уменьшает уровень внутренних напряжений. На этом, собственно, основаны все известные ранее и разрабатываемые ныне методы расчета деталей и конструкций. С другой - и это не менее важно - уменьшается их трещиностойкость. Эта неоднозначность находит свое выражение в известном каждому инженеру масштабном эффекте. На опыте он проявляется в уменьшении средней прочности образцов данного материала при увеличении их размеров. Какова его природа?

АМ-связи любого твердого тела существуют во внутреннем потенциальном поле (его аналогом в реальном мире может служить гравитационное поле). Оно может иметь различную пространственную конфигурацию. Можно показать, что в малых объемах это поле имеет ярко выраженную рельефность. В таком поле движение трещин (если они и возникают) затруднено. Увеличение массы материала размывает рельефность. В этом случае трещины легко зарождаются, объединяются и распространяются. Это означает, что в традиционных методах проектирования с резервированием материала скрыта пока еще не до конца осознанная опасность. Она иногда дает о себе знать в преждевременных и, как ошибочно считают, случайных разрушениях казалось бы благополучных инженерных объектов.

Очередное, третье, опасение возникает в связи с упрощенным представлением о прочности и надежности, особенно тогда, когда на силовые, радиационные и иные поля накладываются тепловые воздействия. В микромере реализуется по крайней мере три принципиально различных механизма деформирования и разрушения: хрупкий, пластичный и дебаевский. Первый и второй преобладают при низких и высоких температурах соответственно. Для широкого круга конструкционных материалов в области комнатных температур дебаевский механизм следует считать характерным и определяющим. Его физическая сущность состоит в следующем.

Границей между компрессионной и дилатонной фазами служит дебаевская температура. Она играет важную роль в структурных процессах (см. упомянутую выше статью). Безопасный переход через нее возможен только при тепловой поддержке извне. Если ее нет, то фазовый переход не состоится. Вместо него происходит отказ АМ-связи и возникновение микроскопического дефекта. Объединяясь, такие дефекты порождают трещину. Для металлов характерен фазовый исход, а для бетонов - отказной.

Частые и резкие перепады температуры приводят к интенсификации процессов трещинообразования и, как следствие, к уменьшению ресурса. Особенно чувствительны к фазовому растрескиванию бетоны и те металлы, дебаевская температура которых близка к эксплуатационной. Долговечность конструкций в таких условиях чрезвычайно низка. Фазовое растрескивание сталей и сплавов по конечному результату аналогично разрыхлению пористых материалов (напр., бетонов или керамики) при сезонных колебаниях температуры окружающей среды около нуля градусов Цельсия. Однако, если по морозостойкости к таким материалам предъявляются жесткие требования, то определение дебаевской температуры металлов не производится, тем более она не учитывается при назначении температуры эксплуатации.

Особенно опасной ситуация становится тогда, когда дебаевский механизм разрушения совпадает с одним из температурных. Это происходит при резком понижении или, наоборот, значительном повышении температуры окружающей среды. Оба случая почти всегда сопряжены с катастрофическими отказами конструкций. Для предотвращения таких отказов разработаны энергетические методы управления напряженно-деформированным состоянием. Они позволяют создавать конструкции, которые адаптируются к внешним условиям и ни при каких обстоятельствах не допускают разрушения.

И, наконец, о радиации. Ее влияние на материалы можно упрощенно интерпретировать как очень мощное локальное сило-

вое воздействие. Оно активизирует компрессионно-дилатонные переходы, которые, в свою очередь, вызывают охрупчивание пластичных материалов (стальная арматура) и трещинообразование хрупких (бетоны). И если изменение технического состояния объекта под влиянием силовых, тепловых или иных полей можно не допускать путем синхронного приложения конкурирующих воздействий, то его сопротивляемость радиации можно повысить только за счет рационального выбора конструкционных материалов.

При строительстве «Укрытия» применялся высокопрочный бетон. По сложившимся в бетонировании представлениям - это оправданно и нормально, т. к. якобы способствует увеличению прочности, надежности и долговечности. Можно показать, что с точки зрения физики разрушения использование такого бетона в такого рода сооружениях является грубейшей ошибкой. И увеличение трещиноватости конструкций после 10 лет эксплуатации - красноречивое тому свидетельство.

Это крамольное (с точки зрения строителей высокопрочного бетона) утверждение базируется на обнаруженной еще в 1986 году зависимости чувствительности процесса трещинообразования от состава бетона, вида и режима нагружения (см., напр., А. Комаровский «Механизм разрушения бетона и перспективные методы обеспечения его долговечности», Киев, Знание, 1986 г.). Тогда же сформулирована следующая идея: если догадываться структуру бетона с условиями работы конструкций или (что гораздо эффективнее) специально под них создавать ее, то процесс трещинообразования можно ограничить или вовсе исключить и обоснованы способы ее реализации.

Процесс разрушения бетона (впрочем, как и любого другого материала) можно условно разделить на три фазы: инкубационную (зарождение хаотических расположенных в объеме микротрещинок), образование из них локальных трещин и, наконец, их объединение и прорастание магистральной трещины. В бетонах средней прочности дефекты зарождаются рано и ведут себя пассивно. Инкубационный период у них растягивается почти на все время нагружения, плавно переходя затем в завершающие фазы. За счет этого они одновременно обладают сравнительно высоким потенциалом несущей способности и деформативности. По этой же причине они малочувствительны к случайным перегрузкам и у них хорошо развит «иммунитет» против объединения локальных трещин. Высокопрочные бетоны, наоборот, имеют затяжной инкубационный период (вплоть до 60-80 процентов от предела прочности). Он, по сути, сливается с завершающими фазами и приводит к катастрофическому характеру разрушения. По этой причине бетоны средней прочности имеют пластичный характер разрушения, а высокопрочные - хрупкий. Такой вывод следует не только из законов физики разрушения, но и подтверждается практическими наблюдениями.

Особенности разрушения подсказывают рациональные области применения обычных и высокопрочных бетонов. У первых целесообразно создавать невысокие уровни напряженного состояния и использовать их при динамических режимах нагружения, у вторых эффективность повышается при относительно высоких уровнях действующих напряжений и статических или квазистатических условиях эксплуатации. Все вышесказанное относится к обеим видам бетонов, находящимся только в силовых полях.

Тепловые, а особенно радиационные поля приводят к дополнительному охрупчиванию материалов. И если у бетонов средней прочности имеется запас пластичности, которого обычно хватает на длительное время, то высокопрочный лишь его практически от рождения. Отсюда следует принципиально важный для повышения надежности и долговечности «Укрытия» вывод: при реконструкции необходимо использовать бетоны средней прочности, которые к тому же априори имеют достаточный запас пластичности. Конкретные значения прочности и пластичности могут быть назначены исходя из действующего или ожидаемого уровня радиации и характера изменения теплового поля.

**Анатолий КОМАРОВСКИЙ,**  
доктор технических наук.

**МИНУЛО БОЛЕЕ 11 ЛЕТ** с момента ввода в эксплуатацию объекта «Укрытие». Состояние громадного железобетонного сооружения, укrywшего собой то, что когда-то называлось четвертым реактором ЧАЭС, не вызывает доверия в своей долговечности. Тому есть тревожные предпосылки. Если допустить разрушение этой конструкции, то тогда... состоится повторное планетарное знакомство с Чернобыльской АЭС. И пока этого не случилось, нужно разобраться, почему в последние годы усилилась трещиноватость тела конструкции (а ведь на ее сооружение шел самый прочный бетон)? Как, в конце концов, наладить эффективный контроль за состоянием «Укрытия»? Мы говорим о контроле, подразумевая возможность продолжения работы ЧАЭС, так как помощи от международного сообщества, необходимой для ее закрытия, очень трудно дожидаться. Да нужно ли вообще делать это, если процессы, происходящие в «Укрытии», будут находиться под надежным контролем? Ведь Украина сегодня не столь богато государство, чтобы позволить себе этот шаг. Что нужно сделать, чтобы объект «Укрытие» был надежным и долговечным? Как при реконструкции избежать непродуманных, поспешных решений и ошибок, которые впоследствии могут стать роковыми? Автор поставил перед собой цель как можно более полно и аргументированно ответить на эти вопросы.

На момент Чернобыльской катастрофы в СССР (впрочем, как и в большинстве других стран мира) был принят полупроверяемый метод проектирования строительных конструкций. Надо заметить, что и до настоящего времени он не претерпел каких-либо изменений. Из-за отсутствия знаний о реальных физических процессах, протекающих в структуре конструкционных материалов (начиная с атомно-молекулярного (АМ) уровня) под влиянием разнообразных внешних полей, статистические методы нацелены на обеспечение надежности конструкций за счет резервирования материала в их объеме. Они формализуют АМ-структуру и рассматривают деформирование и разрушение в механико-математической плоскости и только в силовых полях. Дополнительное воздействие на материалы иных полей вынуждает вводить в расчет различные эмпирические коэффициенты, что не только не способствует повышению надежности и долговечности конструкций, а, иногда, наоборот, усугубляет ситуацию. В этом коренной недостаток существующей системы проектирования и расчета. Покажем, что она не позволяет получить стопроцентную гарантию безотказности конструкций.

Итак, «Укрытие» запроектировано с использованием знаний и методик 10-летней давности, а построено в экстремальной ситуации в условиях дефицита времени. Основной период ему, по-видимому, придется служить в XXI веке. Вместе с тем, уже сегодня прежние представления о физике прочности и механизме разрушения материалов и конструкций существенно изменились. Они напрямую