

Трещинообразование в цементобетонных дорожных покрытиях

Бабаскин Ю.Г.

Белорусский национальный технический университет

Трещина является началом любого разрушения цементобетонного покрытия. Её возникновение связано с концентрацией напряжений, возникающих по различным причинам. Теория трещин рассматривает с позиции континуумизации множество вариантов развития трещины.

Дорожный цементобетон представляет собой композиционный материал, состоящий, как правило, из следующих компонентов: крупного и мелкого заполнителей, а также из цементного камня. Все вводимые добавки, направленные на совершенствование отдельных свойств бетона, воздействуют на формирование цементного камня и влияют на формирование структуры, как самого цементного камня, так и на его адгезию к минеральным компонентам. Рассматривая структуру цементобетона, отличающуюся от однородной структуры металла, невозможно анализировать появление дефектов на атомном уровне, поскольку данный материал представляет собой многокомпонентный материал, в котором компоненты характеризуются различными физическими свойствами, что отражается на характеристике цементобетона некоторыми усредненными показателями, характеризующими в целом прочность материала как физического тела.

Дефекты цементного камня, трещины и поры различного происхождения и различных размеров делают определение прочностных характеристик отдельных компонентов, а также адгезионных связей композиционных материалов весьма затруднительным. Поэтому прочностные показатели цементобетона являются усредненными показателями многофазовой структуры. Определяя прочность цементобетона, мы рассчитываем прочностной показатель для образца, а не для материала в целом, который представляет плиту или ленту с армированными или неармированными швами. Статистическая природа разрушения, подтверждаемая масштабным эффектом, свидетельствует о том, что большие образцы имеют меньшую прочность, чем малые образцы, той же формы, что объясняется большей вероятностью появления опасного дефекта в большем объеме материала. Кроме того, необходимо учитывать, что разрушение тождественно появлению различных дефектов, является процессом, развивающимся во времени и может произойти при разных уровнях напряжений. Концентрация напряжений, вызываемая

устройством различных швов (расширения, сжатия, коробления, рабочих), оказывает большое влияние на прочность тела. Следует учитывать такой фактор, как накопление деформаций, возникающих под действием многократно прилагаемой нагрузки и погодно-климатических условий, которые влияют на скорость развития и концентрацию напряжений. Все обозначенные факторы создают сложную картину механики разрушения композиционных материалов.

Наиболее характерным видом разрушений являются трещины. Основные причины их образования – воздействие погодно-климатических факторов, транспортных нагрузок, изменение свойств материалов со временем.

Под действием этих факторов в цементобетонной плите возникают: деформации, вызванные физическим воздействием нагрузки; изменение напряжений, связанных с увлажнением плиты и проникновением молекул воды в структуру цементного камня, вызывая начало химического процесса; концентрация напряжений, являющаяся следствием увеличения или уменьшения объема физического тела (заполнителя, цементного камня). Эти процессы происходят на макроуровне.

Трещина - это разрыв структурных связей. Изучение трещин свидетельствует о том, что они могут возникать в любом месте цементобетонного дорожного покрытия и характеризоваться как: поперечные сквозные (как в середине плиты, так и вдоль швов) и поверхностные; продольные сквозные; косые на угловых участках; волосяные усадочные. В зависимости от природы трещинообразования они называются: температурные, образуются за счет возникновения температурных напряжений при охлаждении покрытия; силовые, образуются от действия транспортной нагрузки, превышающей действующие нормы (чаще при недостаточной несущей способности основания); технологические, возникают в результате неправильного подбора состава смеси или нарушения технологии; усталостные, возникают вследствие накопления деформаций при прогибе дорожной одежды

Образование трещины характеризуется следующими условиями:

1. потерей прочности цементного камня, в этом случае трещина проходит по цементному камню;
2. нарушение адгезии между цементным камнем и крупным или мелким заполнителем, трещина частично или полностью отделяет заполнитель от цементного камня;
3. потерей структурных связей всех компонентов (возможно при сильном физическом воздействии или длительном наборе усталостных напряжений). Трещина проходит по цементному камню с разрушением адгезионных связей. При такой деформации может происходить частичное разрушение крупного заполнителя;

4. нарушение прочности в основании, которое отразится на изменении прочности любого из компонентов, чаще всего на наиболее слабом (адгезионном взаимодействии или цементном камне).

В теории непрерывных сред, для облегчения исследования процессов, протекающих в структуре неоднородных материалов, используют принцип континуумизации, который дает возможность применить непрерывные функции для описания явлений и процессов, протекающих в неоднородных структурированных материалах и рассматривать неоднородные структуры как континуум (непрерывность). С позиции континуумизации цементобетонная плита, ограниченная продольным и поперечными швами, является континуумом для всего покрытия, а внутри этой плиты выбранный минимальный объем, включающий все компоненты, используемые при создании цементобетонной плиты, также является континуумом, как для плиты, так и для всего покрытия. Отличие будет заключаться в том, что в первом случае это касается конструктивного элемента, а во втором материального тела. Континуум характеризуется:

1) материальным элементом, состоящим из трех компонентов: крупного заполнителя, мелкого заполнителя и цементного камня;

2) прочность крупного заполнителя характеризуется показателем – $R_{кр}$, мелкого заполнителя – R_m , цементного камня – R_c ;

3) контактный слой (адгезионная связь) между крупным заполнителем и цементным камнем характеризуется – $R_{кр}^{ад}$, а между мелким заполнителем и цементным камнем – $R_m^{ад}$.

Согласно механике трещин, их развитие сопровождается накоплением микропор, их слияние с образованием микротрещин, постепенно снижающих уровень прочности. Концентрация напряжений рассматривается в теории Гриффитса, в основе которой лежит представление об энергетическом барьере – поверхностной энергии, который необходимо преодолеть для продвижения трещины. В освободившемся пространстве формируется образование поверхности, которая характеризуется освободившимися минеральными радикалами. Формулировка энергетического критерия Гриффитса свидетельствует в том, что разрушение развивается, если интенсивность освободившейся энергии достигает критического значения.

Концентрация напряжений в точке раскрытия трещины представлена на рис. 1, при этом образованные поверхности свободны от напряжений.

Современные экспериментальные данные свидетельствуют о постепенном развитии разрушения, в котором первичные разрушения и микротрещины играют большую роль, а сам процесс носит длительный характер. Трещина начинает развиваться задолго до полного разрушения, что подтверждается анализом хрупких разрушений.

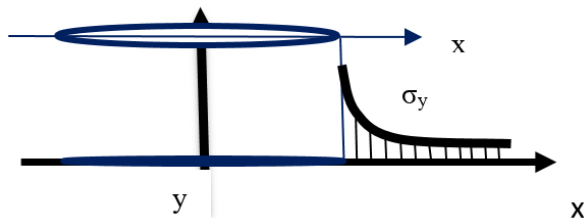


Рис. 1. Эпюра концентрации напряжений в точке раскрытия трещины

Влияние температуры при твердении ускоряет химические процессы реакции гидратации и в результате положительно влияет на рост прочности. Однако при укладке и схватывании может неблагоприятно повлиять на прочность в возрасте 7 суток и более. Это объясняется тем, что при быстрой гидратации образуются более пористые структуры и значительная часть пор остается незаполненной, что повлияет на снижение прочности. Наиболее благоприятным режимом для твердения цементобетона в первые 7 суток является температура $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ и влажность $(95 \pm 5)\%$, а при высоких температурах твердения до достижения 50...70 % нормируемой прочности. По мнению различных авторов, (Жуков В.В) прочность повышается в 2 раза при нагреве до 60°C , а при нагреве до $+100^\circ\text{C}$ прочность уменьшается на 25...30 %. При температуре свыше 200°C в бетоне возникают деструктивные процессы, связанные дегидратацией материала и распадом связующих соединений. Известно, что портландцемент разрушается при температуре 800°C (Милованов А.Ф., Камбаров Х.У., Ильин Н.А.). Согласно исследованиям Леоновича С.Н. при температуре -150°C бетон становится упругим телом с прочностью в 100 МПа, а с повышением температуры деформативность повышается и прочность понижается. В климатическом диапазоне температур $(0 \dots 100)^\circ\text{C}$ проявляется нестационарный режим воздействия на бетон (день, ночь, зима, лето), в диапазоне отрицательных температур, как правило, стационарный.

При образовании усталостных трещин различают два периода:

- 1) инкубационный, характеризующийся накоплением микроразрывов
- 2) период распространения усталостных трещин, который можно проиллюстрировать графиком зависимости изменения относительной длины трещины к числу циклов накопления (рис. 2).

Теория трещин рассматривает различные варианты развития трещины: в известном направлении и заданной формы (плоская прямолинейная трещина), а также вариант, когда траектория развития трещины заранее не известна и подлежит определению в зависимости от нагружения или деструктивных явлений, происходящих с компонентами бетона.



Рис. 2. Зависимость относительного удлинения трещины от числа циклов

Медленный рост трещин связан с процессами разрушения, постепенно разворачивающимися в вершине трещины, а также развитием деформации тела. Лавинное распространение трещины характерно для хрупких тел.

Изучение и применение теории трещин дает инженеру возможность правильно оценить прочность материала и конструкции в целом, а также более глубокого понимания причин разрушения.

Литература

1. Качанов Л.М. Основы механики грунтов. Изд-во «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. М. 1974. – 312 с.
2. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях / Под редакцией С.Н. Леоновича. В 2 частях. Часть 1. БНТУ. 1916.
3. Милованов, А.Ф. Влияние повышенных температур на прочность и модуль упругости тяжелого бетона / А.Ф. Милованов, Н.И. Тупов. – Промышленность сборного железобетона, ТИ 1965, № 9.