

ИСПЫТАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ РАСТЯГИВАЮЩИМ УСИЛИЯМ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ*

Канд. техн. наук, проф. БАЛЫКИН М. К.,
кандидаты техн. наук, доценты ВЕРБИЛО И. Н., МОЙСЕЙЧИК Е. А.

Белорусская государственная политехническая академия

Действующий СТБ 1115–98 [1] устанавливает методы испытания асфальтобетона на сопротивляемость трещинообразованию в составе дорожных покрытий. Так, в п. 6.10 приводится методика определения предела прочности асфальтобетона на растяжение при температуре 0°C (R_p°), в п. 6.18 – индекса трещиностойкости асфальтобетона (U), призванного характеризовать его способность к растрескиванию при изменении температуры в зимний период. Определение R_p° и U рекомендовано производить по данным испытаний образцов на раскалывание. Для этого используются цилиндрические образцы, отношение радиуса которых к высоте изменяется в пределах 0,20...0,28. Указанные образцы нагружаются в условиях центрального сжатия между двумя параллельно расположенными плитами при скорости деформирования 2,5...3,5 мм/мин. Величины R_p° и U определяются по выражениям:

$$R_p^\circ = P: (hd); \quad (1)$$

$$U = R_p^\circ \varepsilon_p^\circ / W_p^\circ, \quad (2)$$

где P – разрушающая нагрузка; h , d – высота и диаметр образца; $\varepsilon_p^\circ = (d - d_1)/d$; d , d_1 – диаметры образца до и после испытаний; W_p° – нормируемое сопротивление образца трещинообразованию.

Сопоставление R_p° с механическими характеристиками материалов, применяемых при расчетах пластинок, плит методами механики твердого деформируемого тела, показывает, что при расчетах дорожных покрытий использование (1) возможно только в эмпирических зависимостях. Вместе с тем опыт эксплуатации асфальтобетонных дорожных покрытий и исследования их трещиностойкости [2–8] свидетельствуют, что появление предельных состояний в дорожной конструкции часто определяется работой покрытия как плиты на растяжение при температурных воздействиях. Проявляющиеся в этом случае по-

перечные и продольные трещины в дорожном покрытии значительно снижают срок службы дорожной одежды, ведут к значительным затратам на дорожные работы и т. д. Исследования по механике асфальтобетона [2–8] и труды И. А. Рыбьева, А. М. Богуславского, В. А. Золоторева и др. доказали, что изменения температуры покрытия по отношению к нижележащим слоям ведут к появлению значительных температурных растягивающих напряжений в асфальтобетоне.

Величины температурных растягивающих напряжений в асфальтобетонном покрытии σ можно определить по [5]:

$$\sigma = E_p \alpha A_n K_n, \quad (3)$$

где E_p , α – расчетный модуль упругости и коэффициент линейного теплового расширения покрытия; A_n – максимальная амплитуда изменения температуры на поверхности покрытия; K_n зависит от толщины покрытия и изменяется в пределах 0,98...0,73 для покрытий толщиной 5–30 см. В [5] показано, что прочность покрытия обеспечивается при выполнении условия

$$\sigma < R_{\text{доп}} = K_{\text{одн}} K_{\text{экс}} R_p, \quad (4)$$

где $K_{\text{одн}}$ учитывает пространственную однородность асфальтобетона, а $K_{\text{экс}}$ – ухудшение его физико-механических свойств в процессе эксплуатации. При определении R_p по данным испытаний цилиндрических образцов, на раскол при температуре 0°C и скорости нагружения 100 мм/мин [5] $R_{\text{доп}} = 0,5 R_p$. В [8] из условия прочности материала на растяжение получено среднее расстояние между поперечными трещинами $L_{\text{кр}}$ в дорожном покрытии. Из [4–9] следует, что $L_{\text{кр}}$, σ зависят не только от качества асфальтобетона, но и от конструктивных особенностей дорожной одежды, дорожной конструкции,

* Публикуется в порядке обсуждения. – Ред.

климатических и инженерно-геологических факторов. Выражение (4) показывает, сколь достоверным должно быть экспериментальное определение величины $R_{доп}$ через R_p .

С этих позиций и с учетом [10–13] можно предположить, что устанавливаемая СТБ 1115–98 методика не позволяет получать величины R_p^0 , соответствующие действительной работе материала в покрытии.

В [10] рассмотрен процесс осевого сжатия со скоростью v_0 двумя плоскопараллельными нагружающими пластинами цилиндрического образца из вязкопластичного материала, начальная температура которого отличается от температуры пластин. Из [11] следует, что распределение температуры вдоль оси такого образца будет быстро изменяться от его середины к торцам. При высокой теплопроводности нагружающих пластин, например стальных, такое изменение будет проходить за небольшой промежуток времени. Отсюда следует, что тепловые условия испытания должны быть жестко определенными, например наложением ограничений на теплопроводность материала нагружающих пластин, продолжительность испытания и т. д. Однако таких ограничений нет в [1]. Для идеально пластической среды в [10] дана верхняя оценка величины среднего давления p_{cp} , приложенного к основаниям цилиндрического образца высотой h и радиусом r :

$$P_{cp} = \sigma_s (1 + fr/3h), \quad (5)$$

где f – коэффициент трения между поверхностями в зоне соприкосновения основания цилиндра и нагружающей плиты; σ_s – предел текучести материала.

Определяя R_p^0 по (1) с учетом (5), получим

$$R_p^0 = \sigma_s (1 + fr/3h)\pi r/h. \quad (6)$$

При $f = 0,2$ имеем для предусмотренных СТБ 1115–98 размеров образцов разброс вследствие так называемого масштабного фактора $R_p^0 = (0,63 - 0,89) \sigma_s$, т. е. примерно на 40 %. При раздавливании цилиндрических образцов нагрузкой, приложенной к образующей, растягивающие напряжения в средней части образца также зависят от его размеров и особенностей контакта между нагружающими пластинами и образцом [12]. Зависимость сопротивления цилиндрических образцов раскалыванию от их размеров подтверждается и многочисленными исследованиями механических свойств подобных образцов на других вяжущих [13].

Обследования [2, 8, 14] показали, что первичные трещины в слоях дорожных одежд появляются в местах ослаблений (зона примыкания нового слоя к трещине в нижележащем слое, выбоины, ямки в дорожной одежде и т. д.).

Изложенное подчеркивает недостатки нормативной методики и показывает, что сопротивление асфальтобетона растяжению в составе дорожной одежды наиболее достоверно можно определить, используя крупноразмерные растягиваемые образцы, толщина которых близка к фактической толщине слоев в дорожном покрытии, а ширина, длина рабочей зоны и форма образца позволяют моделировать реальные условия зарождения и развития трещины в слое. Испытание растягиваемых образцов можно использовать для определения деформационных характеристик дорожного слоя, упругих свойств битумов и асфальтобетонов при низких температурах [15].

Технология изготовления и методика испытаний таких образцов авторами были проработаны при исследованиях крупноразмерных растягиваемых образцов толщиной 50 мм, шириной 400 мм и длиной рабочей зоны 500 мм. В средней части таких образцов выполнялись боковые углубления, имитирующие дефекты в слое дорожной одежды. Размеры поперечных сечений, радиусы закруглений у оснований и глубина выполнялись такими, чтобы имитировалась на образцах работа пластин с конструктивными концентраторами, а коэффициент концентрации напряжений в таких сечениях изменялся от 1 до 12 [16]. Образцы изготавливались методом литья в форму с виброуплотнением, обеспечивающую равномерное остывание до комнатной температуры в течение суток. Их крепление в захватах формы происходило за счет трапециевидного уширения за пределами рабочей зоны, т. е. они принимались близкими по форме к образцам-восьмеркам, используемым для оценки трещиностойкости при растяжении [17]. Образцы изготавливались двух серий: первая серия – из битума БН-5, вторая – из смеси 5...10 % битума и минеральной крошки с размерами зерен в пределах 1,8...10,8 мм. В процессе нагружения, производимого на машине Р-5 со скоростью 3 мм/мин, записывалась диаграмма «нагрузка–удлинение образца», фиксировалось изменение его поперечных размеров, раскрытие берегов углублений и температура поверхности материала в устье углубления.

Испытание выявило технологичность принятой конструкции образцов, заливочной формы и приемлемые условия работы с ними. На первой

серии начали зарождаться трещины у устья углублений: деформирование материала до предельной для конкретного углубления величины – появление цепочки пор в зоне наибольших удлинений – слияние пор и образование магистральной трещины. Дальнейшее разрушение образца происходило за счет продвижения устья магистральной трещины. При этом перед устьем трещины цепочка пор образовывалась не всегда, а продолжали развиваться ранее возникшие поры до полостей внутри образца. Основное удлинение образца на этой стадии деформирования обеспечивалось за счет развития полостей.

Течение битума у устья углублений сопровождалось повышением его температуры на 0,3...2,3 °С. Нагрев в этой зоне повышался с увеличением скорости течения материала. Еще одной особенностью деформирования образца было изменение положения берегов углубления, напомиравшее потерю устойчивости грунтовых откосов. Такое изменение формы сопровождалось ростом радиуса кривизны в устье углубления.

Анализ машинных диаграмм испытаний образцов первой серии показал, что для битума характерно некоторое самоупрочнение при интенсивном течении материала. На каждой диаграмме четко прослеживается упругий участок работы образца, который переходит в пологую кривую на стадии образования пор. Машинная диаграмма деформирования образцов первой серии качественно напоминает аналогичную диаграмму для стальных образцов, но с весьма большим участком самоупрочнения.

Образцы второй серии разрушались по схеме хрупкого отрыва. Трещина зарождалась также у устья углубления и быстро пересекала поперечное сечение образца. Увеличение содержания битума в них приводило к росту поперечных и продольных деформаций, т. е. материал становился более пластичным.

Таким образом, испытания на растяжение предложенных крупноразмерных образцов позволяют в значительной мере вскрыть физическую сущность явлений, протекающих в дорожной конструкции при зарождении и развитии трещин при растяжении дорожного полотна, например вследствие температурных воздействий. В экспериментах с такими образцами можно исследовать расчетные схемы и обосновывать методы расчета различного асфальтобетона на растяжение и трещиностойкость.

1. СТБ 1115–98. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон: Методы испытаний. – Мн.: МАиС РБ. – 1999.
2. Гордеев С. О. Деформации и повреждения дорожных асфальтобетонных покрытий. – М.: Изд-во МКФ РСФСР, 1963. – 132 с.
3. Проектирование дорожных одежд нежесткого типа. Пособие 3.03.01–96 к СНиП 2.05.02–85. – Мн.: МАиС РБ. – 1997. – 87 с.
4. Куделко М. Я. Исследование трещиностойкости песчаных асфальтобетонных покрытий при низких температурах в условиях БССР: Дис. ... канд. техн. наук. – Мн.: БПИ, 1975.
5. Салль А. О. Оценка температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги. – 1988. – № 2. – С. 11–12.
6. Трещиностойкость асфальтобетонных покрытий при низкой температуре / О. Г. Бабак, О. С. Баранковский, Ю. Е. Никольский, В. Н. Шестаков // Автомобильные дороги. – 1989. – № 11. – С. 17–19.
7. Орловский В. С. Трещиностойкость дорожной одежды при разной ее толщине по длине участка // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – № 2. – С. 20.
8. Мойсейчик Е. А., Балыкин М. К. Температурное трещинообразование в дорожных покрытиях и его регулирование // Материалы республиканского научно-методического семинара преподавателей кафедр теоретической механики, теории машин и механизмов, сопротивления материалов вузов Беларуси, Минск, 15–17 июня 2000 г. – Мн.: Технопринт, 2001. – С. 78–82.
9. On thermal stress in a bituminous pavement. Analytic solutions and applications / Dai H., Wu G. // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 1999. – 66, № 3. – P. 714–719.
10. Гун Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
11. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Выш. шк., 1967. – 600 с.
12. Томленов А. Д. Теория пластического деформирования металлов. – М.: Металлургия, 1972. – 408 с.
13. Лещинский М. Ю. Испытание бетона: Справ. пособие. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.
14. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных покрытий во Владимирской области / В. И. Аникин, П. А. Кураго, С. А. Щуко, А. А. Лебедев // Особенности проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в Восточно-Сибирском регионе / Сб. науч. тр. – Иркутск, 1998. – С. 138–141.
15. Spaltzugprüfung – eine einfache Methode zur Beurteilung der Flexibilität des Asphalts / E. Richter // Bitumen. – 1999. – 61, № 4. – S. 137–142.
16. Разработать основы теории деформирования материалов с учетом термомеханических эффектов: Отчет по НИР. № ГР 200060. – Мн.: БГПА, 2000. – 106 с.
17. Леонович И. И., Шумчик К. Ф. Дорожно-строительные материалы. – Мн.: Выш. шк., 1983. – 399 с.

Рецензент докт. техн. наук,
проф. КОВАЛЕВ Я. Н.