

УДК 665.775

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.108

ДОВГОТРИВАЛА МІЦНІСТЬ БІТУМУ В ПРОЦЕСІ СКЛУВАННЯ

Маляр В. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Експериментально досліджено довготривалу міцність бітуму різних структурних типів у твердому стані. Установлено, що залежності довговічності за низьких температур описують рівнянням Журкова. Характер зміни положення залежностей вказує на наявність додаткових температурних напружень у процесі склування через складну нерегулярну структуру в'язучого. Фрактографічний аналіз підтвердив цю інформацію. Наповнення бітуму мінеральними порошками впорядковує його структуру, зменшує температурні напруження під час склування та підвищує довготривалу міцність.

Ключові слова: бітум, асфальтов'язуче, довготривала міцність, фрактографія, склування.

Вступ

Довготривала міцність і довговічність є найважливішими характеристиками будь-якого конструкційного матеріалу. Особлива увага приділяється цим експлуатаційним властивостям матеріалів, що використовуються в дорожньо-будівельних конструкціях. Оскільки механічні властивості, зокрема й довготривала міцність, залежать від їх технології виготовлення та складу, виникає необхідність дослідити дорожньо-будівельні матеріали на тривалу міцність і довговічність. У цій роботі йдеться про довготривалу міцність, коли тільки постійне навантаження й постійна температура впливають на матеріал і не беруться до уваги інші фактори, що також можуть впливати, зокрема: хімічне старіння, вологість, агресивне середовище тощо.

Визначення терміна «довготривала міцність» прийнято відповідно до полімерів, силікатного скла та інших твердих матеріалів. Довготривала міцність – це механічне навантаження, що не змінюється за величиною, прикладається до зразка матеріалу й викликає його руйнування протягом заданого періоду. Для твердих матеріалів чітко встановлено залежності часу τ до руйнування від постійної величини прикладеного навантаження, що характеризується напругою σ , які здебільшого є лінійними в напівлогарифмічних координатах. Такі залежності не тільки визначають довговічність матеріалу, але й розкривають сутність природи міцності, що дуже важливо для спрямованого регулювання його властивостей.

Аналіз публікацій

У вивченні процесів руйнування твердих тіл сформувалися два підходи до пояснення цього складного явища. Один із них – теорія

руйнування Гріффітса – Ірвіна, що розглядає руйнування як проростання макротріщини з найнебезпечнішого дефекту крізь неушкоджений матеріал [1, 2]. Це призводить до лінійної механіки руйнування. Така теорія створена для однофазних матеріалів і не завжди застосовна до інших, які виявляють неоднорідність на масштабному рівні, порівняному з розміром тріщини, оскільки вона передбачає її прямолінійне поширення. Накопичення результатів дослідження тривалої міцності матеріалів започаткувало концепцію, що розглядала руйнування як процес, що відбувається в часі. Вона прийшла на зміну уявленню про руйнування як критичну подію (одиничний акт), що настає внаслідок досягнення граничної напруги. Дослідження руйнування за умови статичного навантаження привели до домінування кінетичних уявлень про міцність матеріалів. Було розроблено новий розділ механіки твердого тіла – «Кінетична механіка руйнування». Найбільш значні роботи провели на початку 1950-х рр. С. Журков і співробітники в лабораторії фізики міцності Фізико-технічного інституту імені А.Ф. Йоффе. Незалежно один від одного Ф. Буше і С. Журков встановили емпіричну залежність, що відома як формула Журкова [3]:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right), \quad (1)$$

де τ_0 – передекспоненціальний коефіцієнт; U_0 – енергія активізації процесу руйнування; γ – структурний коефіцієнт; σ – напруга; R – газова постійна; T – температура.

Тривалість процесу руйнування визначається температурою та активаційним бар'єром $U = U_0 - \gamma\sigma$. Що сильніше напружене

тіло, то менший активаційний бар'єр, потрібний для розриву зв'язків. Енергія U_0 для деяких чистих металів збігається з енергією атомів у кристалічній ґратці, а τ_0 – з періодом коливань атомів. Коефіцієнт γ є структурно чутливою величиною. Його вважають мірою міцності твердого тіла. Що вища однорідність матеріалу або нижчий рівень локальних перенапружень, то менше значення γ і вища міцність матеріалу.

Для силікатного скла (Голланд і Тернер) встановлено степеневу залежність міцності – залежність часу τ до руйнування від прикладеної постійної напруги σ [4]:

$$\tau = B\sigma^{-b}. \quad (2)$$

Залежність (2) також використовується як надійний емпіричний зв'язок між довговічністю та величиною прикладеного навантаження для полімерів у високоеластичному стані (Г. Бартенев) та асфальтобетонів (В. Золотарьов) [5].

Існує чимало досліджень довготривалої міцності різних твердих тіл, зокрема асфальтобетону в агресивних середовищах [6, 7], але відомості про довготривалу міцність бітуму, який за низьких температур перебуває в заскованому стані, відсутні.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є експериментальне визначення довготривалої міцності бітуму за низьких експлуатаційних температур. Також необхідно було встановити, як впливає структурний тип бітуму на довготривалу міцність. Визначити особливості склування бітуму під час охолодження, зокрема бітуму, наповненого мінеральними порошками різного походження (асфальтов'язучого), за допомогою залежностей довготривалої міцності та фрактографічного аналізу.

Методи та об'єкти дослідження

Для вивчення впливу структурного типу бітуму на його довготривалу міцність у процесі склування було отримано бітуми, однакові за penetрацією, які близькі до першого (гель), другого (золь) і третього (золь-гель) структурного типу – індекси 1, 2 і 3. Для отримання бітуму першого типу сировину (гудрон) розріджували дизельним паливом у кількості 7%. Другий тип бітуму було добуто за допомогою випаровування легких фракцій вихідного гудрону в тонкому шарі за темпера-

тури 280 °С. Бітум третього типу, як і першого, добували способом окислення гудрону в безкомпресорній лабораторній установці за температури 220 °С. Використовуючи як сировину той самий гудрон, припускали, що природа компонентів отриманих бітумів однакова. Стандартні властивості бітумів і груповий вуглеводневий склад наведені в табл. 1. Індекси бітумів 1, 2 та 3 [8] відповідають градації коефіцієнта стандартних властивостей $K_{сгд}$ для різних структурних типів.

Таблиця 1 – Основні властивості бітумів, прийнятих для дослідження

Найменування показника	Індекс бітуму		
	1	2	3
Глибина проникності голки за температури:			
25 °С, 0,1 мм	67	66	67
0 °С, 0,1 мм	30	25	29
Температура розм'якшеності, °С	50	47	48
Розтяжність за температури 25 °С, см	50	100	91
Температура крихкості, °С	-23	-18	-22
Температура склування T_g , °С	-25	-21	-23
Індекс penetрації	-0,5	-1,1	-1,0
Вміст вуглеводнів, %	43,3	38,9	42,6
Вміст смол, %	31,5	38,0	33,3
Вміст асфальтенів, %	25,2	23,1	24,1
Коефіцієнт $K_{сгд}$	1,46	0,66	0,77

Для визначення довготривалої міцності бітуму був адаптований консистометр Гепплера (рис. 1), який часто використовується в термомеханічному аналізі полімерів. Його термостат замінено на мікрохолодильник ТК-1 (4), індикатор годинникового типу замінено на індуктивний датчик (1) та електронну вимірювальну систему М-212 (2). Для вчасної реєстрації деформацій до вимірювальної системи було під'єднано самописець КСП-4 (3).

З метою визначення часу до руйнування зразка використовувалася схема – балка на двох опорах, навантажена посередині. Максимальні нормальні напруження були розраховані за формулою [9]

$$\sigma = \gamma \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (3)$$

де γ – коефіцієнт форми; P – сила стрижня консистометра; l – відстань між нижніми опорами (22 мм); b – ширина балки (9,5 мм); h – висота балки (9,5 мм).

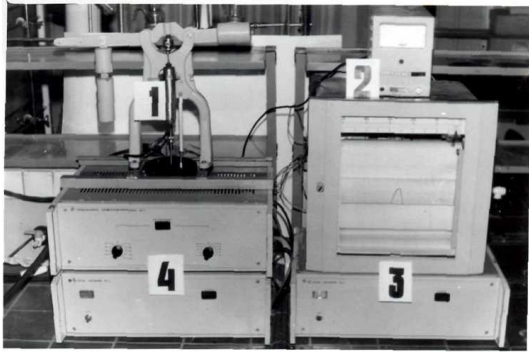


Рис. 1. Загальний вигляд модифікованого пристрою Гепплера: 1 – індуктивний датчик; 2 – електронна вимірювальна система; 3 – самописець; 4 – ТК-1

Для вимірювань були підготовлені зразки таким чином: бітум заливали в розбірні форми за температури вищій, ніж температура розм'якшення, охолоджували, демонтували та розміщували в термокамері пристрою. Час термостатування до початку завантаження приймався рівним 20 хв, що аналогічний часу контролю температури в експериментах із визначенням температури склування дилатометричним методом.

Технічні характеристики модифікованого пристрою Гепплера такі: діапазон темпера-

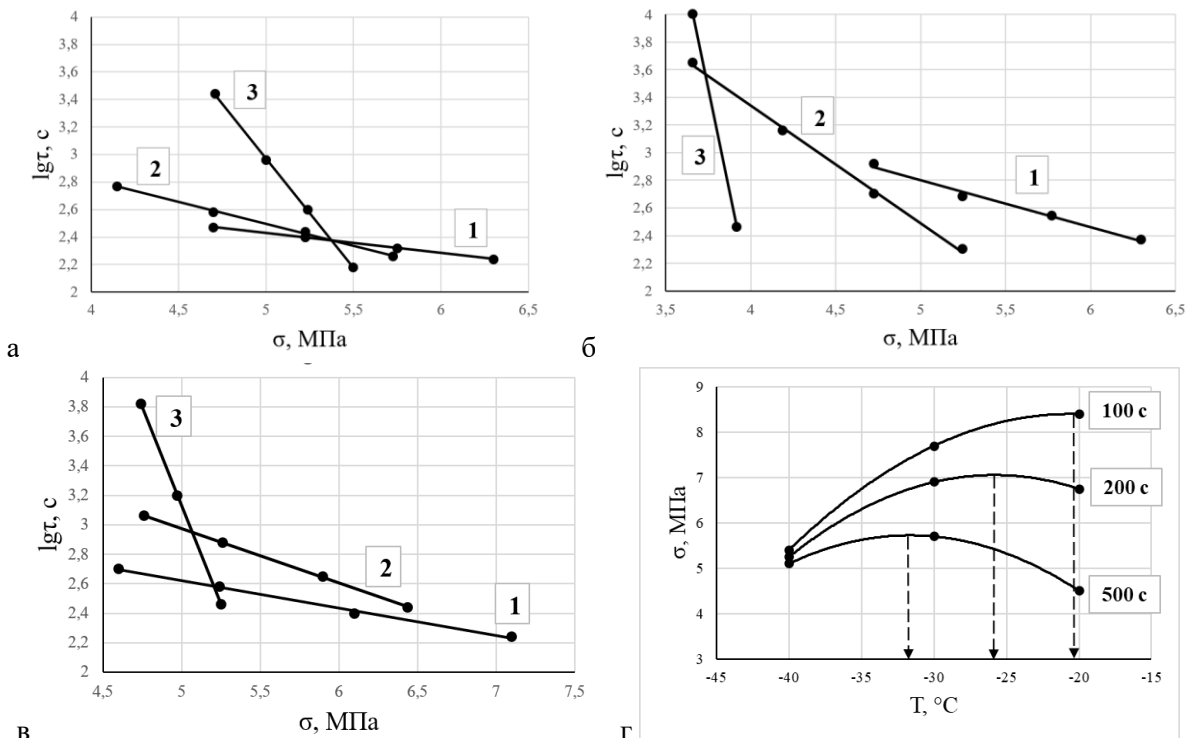
тур становить $-40...+60$ °С; чутливість вимірювальної системи – 1 мкм; максимальне навантаження – 240 Н.

Результати дослідження

Консистометр, пристосований для тривалих випробувань на міцність, дав змогу визначити час до руйнування зразків бітумів за температур -20 , -30 і -40 °С, коли граничні деформації не значні, а час релаксації набагато більший, ніж час експерименту. У цьому діапазоні температур бітуми перебувають у зоні переходу в склоподібний стан і в зоні склування ($T_g = -21 \dots -25$ °С).

У процесі навантаження залежність деформації бітуму в часі має дві властиві ділянки: перехідну та квазістаціонарну повзучість. Передрозривної ділянки не спостерігалось через швидке протікання процесу унаслідок миттєвого проростання основної тріщини під час руйнування. Фрактографічний аналіз також підтвердив крихке руйнування бітуму в цьому діапазоні температур.

Результати досліджень бітумів різних структурних типів (рис. 2, а-в) показують, що в досліджуваному діапазоні температур довготривала міцність добре описується рівнянням Журкова. Це рівняння також використовують для опису довготривалої міцності асфальтобетону, зокрема за низьких експлуатаційних температур.



Індекс бітуму: а – 1, б – 2, в, г – 3; температура, °С: 1 – -20 ; 2 – -30 ; 3 – -40

Рис. 2. Довготривала міцність бітумів

За умови зниження температури (у межах досліджуваних температур і прийнятої похибки) не виявлено ані класичного віялоподібного розташування прямих, ані їх паралельного зміщення, як для асфальтобетону. У процесі переходу бітуму в склоподібний стан лінії на залежностях (рис. 2, *a–в*) зміщуються в зону менших напружень. Для бітуму другого типу цей зсув значний порівняно з бітумом першого типу. Бітум третього структурного типу займає проміжне значення. У цьому діапазоні температур виникають «внутрішні» температурні напруження, що, ймовірно, змінюють розрахункове значення напружень у прийнятому рівнянні (1). Тому змінною від температури може бути не коефіцієнт γ , а напруга σ . Не знаючи величини «внутрішнього» напруження, яке може виникнути або від нерівномірності упаковки молекул, або від різниці коефіцієнтів температурного розширення бітумних компонентів, неможливо визначити енергію активації процесу руйнування та оцінити структурно чутливий коефіцієнт γ .

Кут нахилу ліній у напівлогарифмічних координатах до осі ординат зменшується зі зниженням температури та переходом від бітуму першого типу до бітуму другого типу. Така якісна міра пластичності є кращою для бітумів першого структурного типу, для яких релаксаційна здатність за цих температур є вищою. Температурна залежність довготривалої міцності (рис. 2, *з*) має максимум, що зміщується від часу навантаження. Якщо положення цього максимуму традиційно прийняти за температуру механічного склування [10], то умовою його збігу з температурою структурного склування буде певний час дії навантаження (τ'). Якщо час дії навантаження у випробуванні τ більший за τ' , то бітум встигає релаксувати температурну напругу й матеріал перебуває у в'язкопружному стані. За умови

$\tau < \tau'$ матеріал не встигає релаксувати температурні напруги і, як наслідок, стає крихким, тобто перебуває в зоні втрати міцності в разі зниження температури. Час приведення τ' положення максимальної міцності до температури структурного склування можна розглядати як кількісний показник часу релаксації, якщо T_g . Цей показник є кращим (тобто має більш низьке значення) для бітуму 1 – 200 с, порівняно з бітумом 2 – 4000 с.

Особливості поверхонь руйнування бітуму досліджувалися на зразках, випробуваних в експерименті на довготривалу міцність. Поверхні руйнування було сфотографовано відразу після випробування. У цьому разі глибина різкості була незначною і, отже, на поверхнях розлому з великими хвилями є нечіткі місця (рис. 3).

У проведених експериментах змінювалися два фактори: температура і рівень навантаження (або, як наслідок, тривала міцність). Визначено, що за більш високих температур і низьких рівнів навантаження поверхня бітумного руйнування містить такі зони: гладку (1), гребінчасто-смушкову (2) і шорстко-хвилясту (3) (рис. 3, *a–б*). Гладка зона походить від дефекту поверхні, що може бути як вм'ятинною, подряпиною, мікротріщиною або іншим невеликим. Ця зона, мабуть, є наслідком пластичної деформації зразка, де в цих місцях відбувається деяке розсіювання енергії в разі руйнування в гирлі тріщини. Зі зниженням температури або збільшенням рівня навантаження гладка зона зменшується і зникає (перехід з рис. 3, *a* до рис. 3, *в*), а дефекти поверхні на знімках не виявлено й несуттєво впливають на результати.

Гребінчасто-смушкова зона, яка заповнює майже всю частину поверхні зламу, що залишилася після гладкої, може бути наслідком крихкого руйнування зразка в зоні склування.

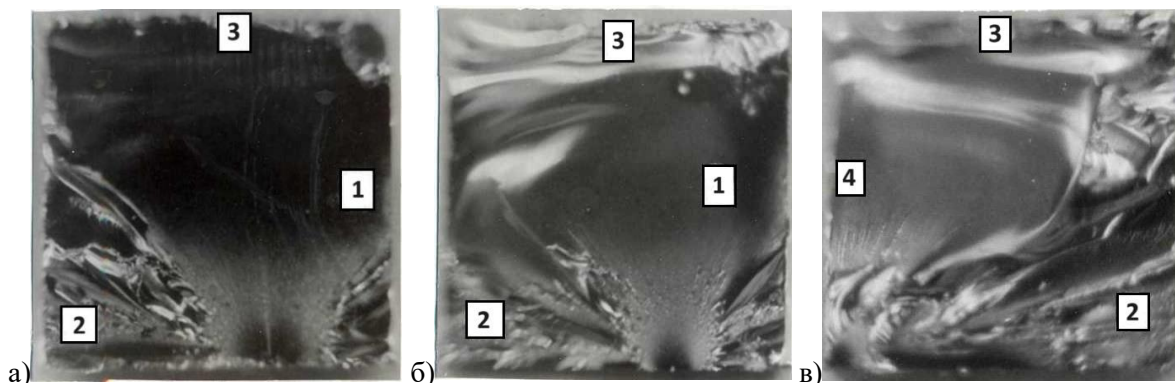


Рис. 3. Фрактографічний аналіз поверхонь руйнування

У цьому разі енергія в гирлі тріщини не розсіюється. Шорстко-хвиляста зона є наслідком дії верхнього рифля та завершенням акту процесу поділу зразка на частини внаслідок руйнування.

За умови крихкого руйнування (рис. 3, в) з'являється ще одна зона – дзеркальна (4), присутня практично в усіх дослідженнях асфальтобетону. Ця зона вказує на ділянку найвищих напружень, розташованих у поверхневих шарах зразка за схемою режиму випробувань. Аналогічна ділянка спостерігалася в роботах з руйнування еластичних полімерів, яка збільшувалася із зростанням швидкості деформації, а також зі зниженням температури.

Фрактографічний аналіз підтверджує об'ємний характер процесів руйнування та деякі особливості, пов'язані зі складною структурою бітуму та її проявами під час склування.

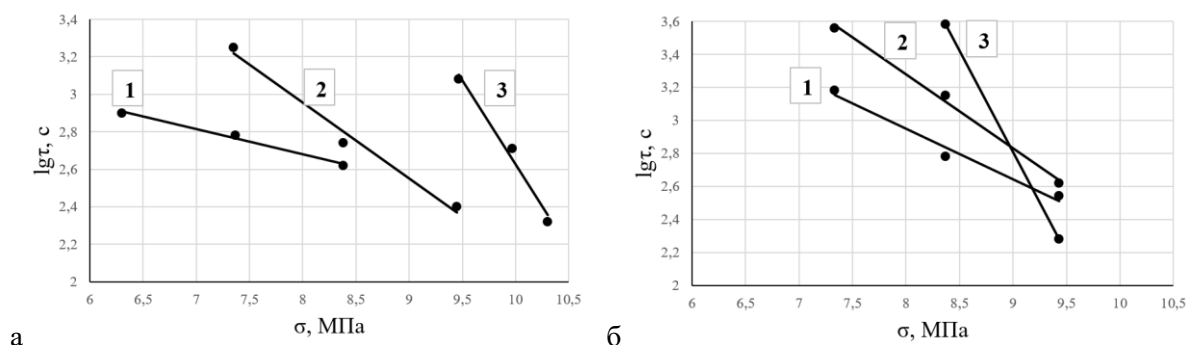
Для проведення досліджень довготривалої міцності асфальтов'язучих використовували вапняковий і кварцовий мінеральні порошки однакової дисперсії за питомої площі поверхні ($3570 \text{ см}^2/\text{г}$ та $3520 \text{ см}^2/\text{г}$ відповідно). Кількість порошку визначали за допомогою дилатометричного методу, а саме досягненням першої структуроутворювальної концентрації за умови зміни температури склування бінарної системи. Так, для бітумів першого та другого типів на вапняковому і кварцовому мінеральному порошку отримали концентрації 25 %, 31% та 20,5 %, 25 % відповідно.

Дослідження асфальтов'язучих на бітумах різних типів першої структуроутворювальної концентрації показали, що їх міцність у зоні склування є в 1,5–2 рази вищою, ніж міцність чистого бітуму за тієї самої довговічності. Наповнення приводить до більш впорядкованої структури в'язучого. Отже, за умови зниження температури, від $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ залежності довготривалої міцності не зміщуються в зону менших напружень. У цьому разі зна-

чення температур склування асфальтов'язучих вищі за значення T_g бітуму на $5\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$. Поведінка різних типів бітумів у структурованому стані аналогічна поведінці бітумів у вільному стані. Зміщення кривих довготривалої міцності в зону високих напружень вище для асфальтов'язучого на бітумі першого типу (рис. 4, а). Для асфальтов'язучого на бітумі другого типу таке зміщення практично не відбувається (рис. 4, б). За аналогією з ненаповненим бітумом другого типу під час склування у наповненого бітуму виникають «внутрішні» напруження, які більші, ніж для бітуму першого типу. За температури $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ довготривала міцність асфальтового в'язучого на бітумі першого типу на $10\text{--}12 \text{ } \%$ вища порівняно з асфальтов'язучим на бітумі другого типу. Якщо температура $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, спостерігається протилежна тенденція, яка узгоджується з відомими температурними залежностями міцності на розтяг у процесі вигину асфальтобетону.

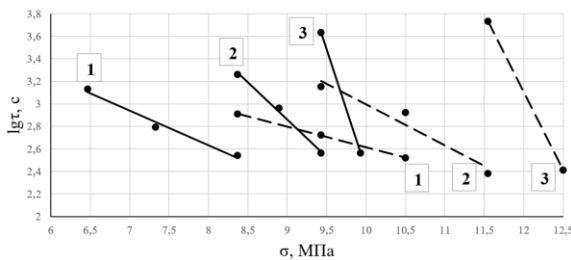
Аналогічно бітуму змінюються кути нахилу до осі ординат залежностей довготривалої міцності асфальтов'язучих. За умови зниження температури й переходу від бітуму першого до другого структурного типу кут нахилу ліній зменшується. Асфальтов'язучі на бітумі третього типу займають за цим показником проміжні значення.

Зниження пластичності внаслідок охолодження менше для асфальтов'язучих, ніж для бітуму. Поряд зі збільшенням міцності, це явище може бути пов'язане зі зміною їх складу та структури в зоні контакту під впливом поверхневих сил і також фільтраційного ефекту. Однак із цього не випливає, що наповнений бітум в асфальтобетонному покритті буде краще релаксувати температурні напруги в процесі охолодження. Під час наповнення бітуму підвищується жорсткість і температура склування системи. Тому це явище буде багатфакторним.



Температура, $^\circ\text{C}$: 1 – -20 ; 2 – -30 ; 3 – -40
Рис. 4. Довготривала міцність асфальтов'язучого

Зміна хімічного складу мінерального порошку істотно впливає на довготривалу міцність наповненого бітуму. Наприклад, наповнений кварцовим мінеральним порошком бітум (індекс 3) має вищу міцність і пластичність за низьких температур порівняно з бітумом з вапняковим наповнювачем (рис. 5). Імовірно, це пов'язано зі зміною складу бітуму в зоні контакту під впливом фільтрації низькомолекулярних компонентів крізь пори вапнякового порошку та різної селективної поверхневої адсорбції порошоків неоднакового походження.



Температура, °С: 1 – -20; 2 – -30; 3 – -40
Рис. 5. Довготривала міцність асфальтов'язучих із вапняковим (—) та кварцовим (- - -) мінеральним порошком

Поверхні руйнування асфальтов'язучих аналогічні поверхням руйнування асфальтобетону, де розрізняють дві зони: зернисту та згладжено-шорстку. Необхідно зауважити, що в зразках асфальтов'язучого за певних експериментальних умов не спостерігається гребінчасто-смугаста зона. Сама поверхня руйнування (з наповненням бітуму мінеральним порошком) загалом набагато гладкіша порівняно з чистим бітумом. Це може бути додатковим доказом зниження температурної напруги завдяки впорядкованій структурі в процесі склування з додаванням у бітум мінерального наповнювача.

Висновки

Досягнуто нових експериментальних показників щодо довготривалої міцності бітуму за низьких експлуатаційних температур. Показано, що вони описуються формулою Журкова. Характер залежностей часу до руйнування від прикладеного навантаження за постійної температури бітуму розрізняється від характеру аналогічних залежностей твердих однофазних матеріалів. За умови переходу бітуму в склоподібний стан статичне руйнування залежить від частки пластичності матеріалу: що вона більша, то меншими є температурні напруження, які виникають через нерегулярну складну структуру матеріалу. Бітуми

першого структурного типу (гель) набувають кращих релаксаційних властивостей за низьких температур порівняно з бітумами другого структурного типу (золь). Унаслідок цього їх довготривала міцність є вищою.

Фрактографічний аналіз поверхонь після руйнування зразків бітуму підтвердив релаксаційний характер довготривалої міцності за низьких температур. Поверхні руйнування вказують, що залежно від температури й часу дії навантаження відбувається певна частка розсіювання механічної енергії та виникає пластична деформація.

Наповнення бітуму мінеральними порошками різного походження змінює структуру в'язучого – вона стає упорядкованішою. Результатом цього є підвищення міцності та зменшення температурних напружень бітуму в процесі склування. Так, міцність асфальтов'язучого в 1,5–2 рази вища, ніж у «чистого» бітуму за тих самих умов довговічності. У цьому разі значення T_g більше на 5–7 °С. Саме бітум першого типу з кварцовим мінеральним порошком є міцнішим за низьких температур. Використання такого асфальтов'язучого дасть змогу поліпшити низькотемпературні властивості асфальтобетонів.

Література

- Griffith A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. *Philos. Trans. Roy. Soc.*, London. Ser A. 1921. V. 221. pp. 163–198.
- Irwin G. Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Traversing a Plate. *J. Appl. Mech.*, 1957. № 3. pp. 361–364.
- Kausch H.-H. *Polymer Fracture*. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1987. 456 p.
- Tikhonov V.B., Blaznov A.N., Savin V.F. Method of fiberglass testing for static durability. *Inorganic Materials*, 2011. V. 47. № 15. pp. 1702–1706.
- Радовський Б.С. Проблеми механіки дорожньо-будівельних матеріалів і дорожніх одягів. Київ, 2003. 240 с.
- Пат. № 105561 Україна. Спосіб визначення корозійної стійкості асфальтобетону. Державна служба інтелектуальної власності України. Опубл. 26.05.2014.
- Єфремов С.В. Вплив температури на довговічність у агресивних середовищах асфальтобетонів на гранітному і вапняковому щебені. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 2017. № 79. С. 123–127.
- Zolotaryov V., Pyrig Y., Galkin A., Maliar V., Vyrozhemskiy V. Cohesion of bituminous binders and asphalt concrete strength in shear. *6th Eurasphalt & Eurobitume E&E Congress*. Prague, 2016. 6 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/312327257> (дата звернення: 03.06.2024).

9. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М., Баран С.А. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Київ: НТУ, 2017. Вип. 100. С. 68–76.
10. Maliar V. Cohesion Properties of Bitumen of Different Structures. *Procedia Engineering*. V. 134, 2016. pp. 121–127.

References

1. Griffith A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. *Philos. Trans. Roy. Soc.*, London. Ser. A. 1921. V. 221. pp. 163–198.
2. Irwin G. Analysis of Stresses and Strains near the End of a Crack Traversing a Plate. *J. Appl. Mech*, 1957. № 3. pp. 361–364.
3. Kausch H.-H. Polymer Fracture. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1987. 456 p.
4. Tikhonov V.B., Blaznov A.N., Savin V.F. Method of fiberglass testing for static durability. *Inorganic Materials*, 2011. V. 47. № 15. pp. 1702–1706.
5. Radovskyi B. S. Problemy mekhaniky dorozhno-budivelnikh materialiv i dorozhnikh odiahiv. Kyiv, 2003. 240 p. [in Ukrainian].
6. Pat. № 105561 Ukraina. Sposib vyznachennia koroziiinoi stiiikosti asfaltobetonu. Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Opubl. 26.05.2014. [in Ukrainian].
7. Iefremov S.V. Vplyv temperatury na dovhovichnist u ahresyvnykh seredovyshchakh asfaltobetoniv na hranitnomu i vapniakovomu shecheni. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, 2017. № 79. pp. 123–127. [in Ukrainian].
8. Zolotaryov V., Pyrig Y., Galkin A., Maliar V., Vyrozhemskiy V. Cohesion of bituminous binders and asphalt concrete strength in shear. *6th Eurasphalt & Eurobitume E&E Congress*. Prague, 2016. 6 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/312327257> (Accessed on 03.06.2024).
9. Mozghovyi V.V., Onyshchenko A.M., Kutsman O.M., Baran S.A. Rozrakhunkovyi modul pruzhnosti asfaltobetonu. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*. Kyiv: NTU, 2017. Vyp. 100. pp. 68–76. [in Ukrainian].
10. Maliar V. Cohesion Properties of Bitumen of Different Structures. *Procedia Engineering*. V. 134, 2016. pp. 121–127.

Маляр Володимир Володимирович, к.т.н., проф. каф. технології дорожньо-будівельних матеріалів ім. М.І. Волкова, тел. +38 (067)7189941, vladimirmalyar16@gmail.com. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Long-term strength of bitumen during glass transition

Abstract. Problem. Long-term strength and durability are the most important characteristics of any structural material. Since these mechanical properties depend on their manufacturing technology and composition, there is a need to conduct research on road construction materials for long-term strength and durability. There are many studies on the long-term strength of various solids, including asphalt concrete, but there is no data on the long-term strength of bitumen, which is in a glass transition state at low temperatures. **The main goal.** The aim of the work was to experimentally determine the long-term strength of bitumen at low operating temperatures. It was also necessary to establish how the structural type of bitumen and its filling with various mineral powders affect long-term strength. **Methodology.** To determine the long-term strength of bitumen, the Heppler consistency meter, which is often used in the thermomechanical analysis of polymers, was adapted. To study the influence of the structural type of bitumen on its long-term strength during glass transition, bitumens with the same penetration and close to the first (gel), second (sol) and third (sol-gel) structural types were obtained. **Results.** The nature of the dependences of the time to destruction from the applied load at a constant bitumen temperature differs from the similar dependences of solid single-phase materials. During the transition of bitumen to a glassy state, static destruction depends on the plasticity of the material, the greater it is, the lower the temperature stress due to the irregular complex structure of the material. Bitumens of the first structural type (gel) show better relaxation properties at low temperatures compared to bitumens of the second structural type (sol). As a result, their long-term durability is higher. Filling bitumen with mineral powders of different origins changes the structure of the binder; it becomes more ordered. The result is an increase in strength and a decrease in temperature stress of bitumen during glass transition. **Originality.** New experimental data on the long-term strength of bitumen at low operating temperatures were obtained. It is shown that they are described by the formula of S.M. Zhurkov. **Practical value.** It is possible to improve the low-temperature properties of asphalt concrete by using bitumen of the first type with quartz mineral powder.

Keywords: bitumen, asphalt binder, long-term strength, fractography, glass transition.

Maliar Volodymyr, Ph.D., professor, Technologies of Road Construction Materials named after M.I. Volkova Department, tel. +38(067)7189941, vladimirmalyar16@gmail.com. Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.