

УДК 666.94

Солодкий С.Й., д-р техн.наук, Гуняк О.М., Марків Т.Є., канд. техн.наук

ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ ВИСОКОМІЦНИХ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ

Анотація. Наведено результати дослідження впливу мінеральних та хімічних добавок на властивості високоміцного дорожнього бетону. Вивчено їх вплив на механічні властивості, а також силові та енергетичні параметри тріщиностійкості бетонів. Досліджено вплив об'єму втягнутого повітря у бетонній суміші на властивості затверділого високоміцного дорожнього бетону.

Ключові слова: активні мінеральні добавки, високоміцний дорожній бетон, повітровтягування, суперпластифікатор, тріщиностійкість.

UDC 666.94

Solodkyy S.Y., Dr. Tech. Sci., Hunyak O.M., Markiv T.Ye., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.)

FRACTURE TOUGHNESS OF MODIFIED HIGH STRENGTH CONCRETE FOR PAVEMENT

Abstract. The results of the study of the effect of mineral and chemical additives on high strength concrete for pavement are presented. Their impact on mechanical properties as well as on power and energy fracture parameters was studied. The influence of entrained air volume in concrete mixes on properties of hardened high strength concretes for pavement was investigated.

Keywords: active mineral additives, high strength concrete for pavement, air entrainment, superplasticizer, fracture toughness.

УДК 666.94

Солодкий С.Й., д-р техн.наук, Гуняк А.Н., Марків Т.Є., канд. техн.наук

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВИСОКОПРОЧНЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния минеральных и химических добавок на свойства высокопрочного дорожного бетона. Изучено их влияние на механические свойства, а также силовые и энергетические параметры трещиностойкости бетонов. Исследовано влияние объема вовлеченного воздуха в бетонную смесь на свойства затвердевшего высокопрочного дорожного бетона.

Ключевые слова: активные минеральные добавки, высокопрочный дорожный бетон, воздухововлечение, суперпластификатор, трещиностойкость.

Вступ

В сучасних умовах високої вартості органічних в'язучих все більш економічно привабливим стає будівництво цементобетонних дорожніх покриттів. Їх основною перевагою порівняно з дорожніми одягами

Introduction

In modern conditions of high cost of organic binders the construction of cement concrete pavement are becoming more and more economically attractive. Their main advantages in comparison to

нежорсткого типу є висока довговічність і надійність [1, 3].

Відомо, що процес руйнування цементобетону під дією зовнішніх чинників (навантаження, температурно-вологісні впливи, агресивне середовище) відбувається шляхом утворення та поширення в його структурі тріщин. Тому одним із найважливіших способів забезпечення довговічності дорожніх цементних бетонів є підвищення їх тріщиностійкості, яку доцільно оцінювати за критеріями механіки руйнування [2].

Постановка проблеми

У зв'язку з постійним зростанням інтенсивності руху та навантажень на вісь [3], виникає необхідність застосовувати у покритті матеріал з вищими механічними характеристиками – високоміцний бетон (HSC- high strength concrete). Досягти класу C32/40 і вище, забезпечивши підвищену довговічність (більше 50 років) та рекомендований для дорожніх бетонів вміст об'єму втягнутого повітря 4-6% [4], можливо за використання раціонального добору активних мінеральних добавок та ефективних суперпластифікаторів і добавок повітровтягувальної дії. Проте з підвищенням міцності та ущільненням структури таких бетонів зростає крихкий характер їх руйнування.

Результати попередніх досліджень підтвердили ефективність сумісного використання мінеральних добавок цеоліту та вапняку в бетонах [5], а поєднання мінеральних та хімічних добавок пластифікуюче-повітровтягувальної дії забезпечує позитивний вплив на стійкість до попереминого заморожування-відтавання, зниження усадочних деформаций та підвищену водонепроникність [6]. Як свідчать результати досліджень [7], більш інтенсивний приріст тріщиностійкості досягається шляхом зниження водоцементного відношення за рахунок введення суперпластифікатора. В роботі Солодкого та ін. [8] показано, що параметри тріщиностійкості високоміцних бетонів з органо-мінеральними добавками під навантаженням зростають приблизно на 15-18% порівняно з високоміцними бетонами

non-rigid pavement type are high durability and reliability [1, 3].

It is well known that the destruction of cement concrete under the influence of external factors (stress, temperature and humidity influences, aggressive environment) occurs through the formation and spreading of cracks in its structure. Therefore, one of the most important ways to provide the durability of pavement cement concrete is increasing their fracture toughness, which is reasonable to evaluate using the criteria of fracture mechanics [2].

Formulation of the problem

Due to the constant increase in traffic and load on the car axle [3], it is necessary to apply the coating material with higher mechanical characteristics – high strength concrete (HSC). Achieving C32/40 strength class and above, providing increased durability (more than 50 years) and recommended content of entrained air 4.6% for road concrete [4] are possible by using rational choice of active mineral additives and an effective superplasticizers as well as air entraining agent. However, with increased strength and structure consolidation of such concrete the fragile nature of their fracture increases as well.

The results of previous research confirmed the effectiveness of joint incorporation of mineral additives such as zeolite and limestone in concrete [5], and the combination of mineral and chemical additives of plasticizing and air entraining action provides a positive effect on the resistance to alternating freezing and thawing, reducing shrinkage and increasing water impermeability [6]. According to research results [7], more intense fracture toughness growth is achieved by reducing the water-cement ratio with superplasticizer incorporation. Solodkyu et al. [8] shown, that the fracture parameters of concrete with high amount of organic-mineral additives increases under load by approximately 15-18% in comparison with high strength concrete without additives.

без добавок.

Тому метою досліджень є вивчення силових та енергетичних показників тріщиностійкості модифікованих високоміцних дорожніх бетонів з різним вмістом об'єму втягнутого повітря.

Сировинні матеріали і методи досліджень

Під час проведення досліджень використовували такі матеріали: портландцемент ПЦ I-500-Н з вмістом трикальцієвого алюмінату 6,8 мас.%; цеолітовий туф Сокирницького родовища з високим вмістом клиноптилоліту (60-80 мас.%; вапняк Миколаївського родовища (Львівська обл.). Хімічні склади використаних матеріалів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічні склади портландцементу, цеоліту та вапняку

Оксиди	Вміст оксидів, мас.%		
	Портланд-цемент	Цеоліт	Вапняк
SiO_2	22,04	75,34	1,95
Al_2O_3	4,85	8,77	0,51
Fe_2O_3	3,59	1,30	0,36
CaO	65,10	4,6	54,63
MgO	1,44	0,55	0,52
SO_3	0,49	0,05	0,52
Нерозч. залишок	2,49	9,39	41,44

Для забезпечення необхідних реологічних властивостей суміші та бетону застосовували суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів ($\rho=1,05 \text{ г/см}^3$, $C=20\%$) та повітровтягувальну добавку ($\rho=1,015 \text{ г/см}^3$, $C=4,4\%$) - розчин вінсольних смол.

Як заповнювачі використано пісок з $M_{кр}=1,8$ та гранітний щебінь фракції 5-20 мм. Витрата цих матеріалів на 1 м^3 бетонної суміші у всіх запроєктованих складах бетонних сумішей становила 660 кг та 1150 кг відповідно. Розроблені склади сумішей представлені в табл. 2. Вміст в'язучого в бетонній суміші без повітровтягувальної добавки становив

Therefore the aim of this research is the study of power and energy characteristics of fracture of modified high strength concrete for pavements with different amount of entrained air.

Raw materials and research methods

The following materials were used in the study: Portland cement PC I-500-N containing 6.8 wt.% of tricalcium aluminate; zeolitic tuff derives from Sokyrnytsya deposits with a high content of clinoptilolite (60-80 wt.%); Limestone from Mykolaiv deposits (Lviv region). The chemical composition of the materials is shown in Table 1.

Table 1 - Chemical composition of Portland cement, limestone and zeolite

Oxides	Oxides content, wt.%		
	Portland cement	Zeolite	Limestone
SiO_2	22,04	75,34	1,95
Al_2O_3	4,85	8,77	0,51
Fe_2O_3	3,59	1,30	0,36
CaO	65,10	4,6	54,63
MgO	1,44	0,55	0,52
SO_3	0,49	0,05	0,52
Insoluble residue	2,49	9,39	41,44

To provide the necessary rheological properties of mixes and hardened concretes superplasticizer based on polycarboxylates ($\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$, $C = 20\%$) and air entraining agent ($\rho = 1,015 \text{ g/cm}^3$, $C = 4,4\%$) - solution of vinsol resins were used.

Sand with fineness modulus of 1.8, granite gravel (fractions of 5-20 mm) were used as aggregates. Content of materials per 1 м^3 of concrete mix in all developed concrete mixes was 660 kg and 1150 kg respectively. The composition of mixes presented in Table 2. The content of binder in concrete mix without air

400 кг/м³.

Для зменшення негативного впливу підвищеного вмісту (більше 7%) втягнутого повітря, вводили додаткову кількість суперпластифікатора (1,64 мас.%).

Таблиця 2 – Вміст хімічних добавок та властивості бетонних сумішей (В/Ц=0,35; марка за легковкладальністю P1)

Умовне позначення бетонної суміші	Суперпластифікатор (% від маси цементу)	Повітровтягувальна добавка (% від маси цементу)	ОК (см)	Об'єм втягнутого повітря (%)
ПЦСп1	1,22	-	4	2,8
*ПЦКСп1 П1	1,22	0,1	4	4,3
*ПЦКСп1 П2	1,22	0,15	3	6,5
*ПЦКСп1 П3	1,22	0,2	3	7,0
*ПЦКСп2 П4	1,64	0,25	4	7,2

* - 340 кг/м³ портландцементу, 40 кг/м³ цеоліту, 20 кг/м³ вапняку

Приготування, зберігання та випробування зразків проводили відповідно до діючих стандартів [9, 10]. Характеристики тріщиностійкості визначались при зрівноважених механічних випробуваннях зразків-призм 100x100x400 мм з штучно створеною тріщиною відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-227:2009 (рис. 1). В процесі випробувань записували повну діаграму стану бетону в координатах навантаження-прогин F-V, на підставі якої розраховувались енергетичні та силові характеристики тріщиностійкості.

entraining agent was 400 kg/m³.

To reduce the negative effects of higher content (over 7%) of entrained air an additional amount of superplasticizer was added (1.64 wt.%).

Table 2 - Content of chemical additives and properties of concrete (W/C = 0.35; consistency class of S1)

Mix identification	superplasticizer (wt.% of cement content)	Air entraining agent (wt.% of cement content)	Slump (cm)	Volume of entrained air, (%)
PCSp1	1,22	-	4	2,8
*CCSp1A 1	1,22	0,1	4	4,3
*CCSp1A 2	1,22	0,15	3	6,5
*CCSp1A 3	1,22	0,2	3	7,0
*CCSp2A 4	1,64	0,25	4	7,2

* - 340 kg/m³ of Portland cement, 40 kg/m³ of zeolite, 20 kg/m³ of limestone

Preparation, storage and testing of samples was carried out in accordance with current standards [9, 10]. Characteristics of fracture toughness were defined during the balanced mechanical tests of prism samples 100x100x400 mm with artificially created notch in accordance with DSTU B V.2.7-227:2009 (Figure 1). During the tests the full state diagram of concrete in the coordinates load - deflection F-V was recorded, the energy and power characteristics of the fracture were calculated based on it.

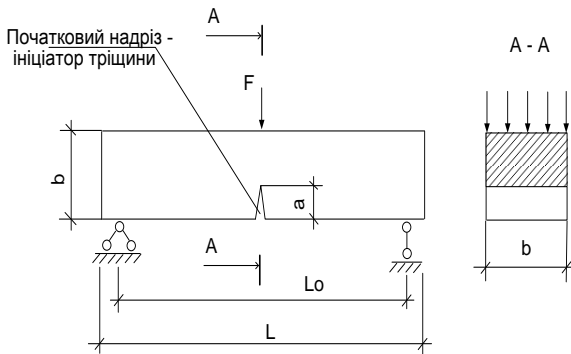


Рисунок 1 – Схема зрівноважених випробувань

Результати випробувань

Отримані результати досліджень свідчать (рис. 2), що бетон з органо-мінеральними добавками на основі бетонної суміші з вмістом втягнутого повітря 4,3% характеризуються дещо нижчою міцністю протягом 28 днів тверднення, проте з часом міцність вирівнюється, а через 90 днів навіть перевищує міцність бетону ПЦСп1. Збільшення об'єму втягнутого повітря в бетонних сумішах до 6,5; 7,0; 7,2% призводить до зниження ранньої міцності (через 3 доби тверднення) на 8,6; 27; 38,1% відповідно та міцності через 28 днів на 14,3; 22,7; 32,7% відповідно.

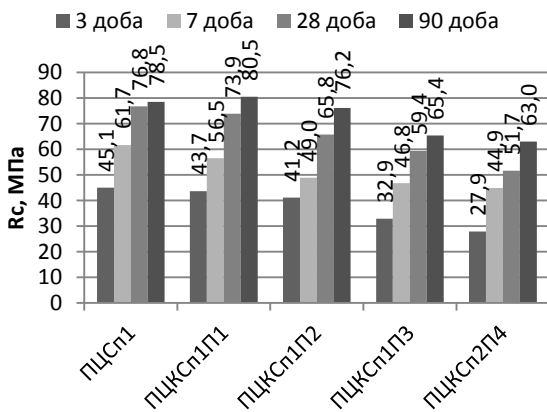


Рисунок 2 – Міцність на стиск бетонів

За результатами випробувань зразків-призм з ініційованою тріщиною побудовано повні діаграми стану високоміцних бетонів (рис. 3).

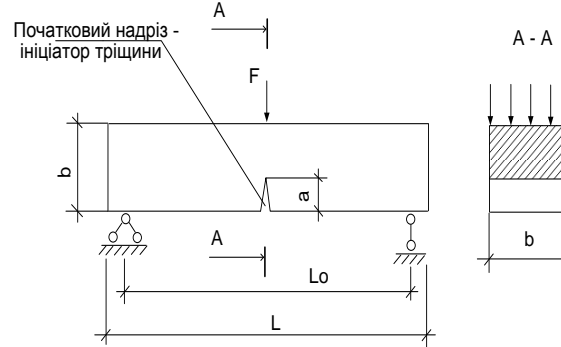


Figure 1 – Diagram of balanced test

Test results

The obtained results show (Fig. 2), that concrete with organic and mineral additive, based on concrete mix with 4,3% of entrained air was characterized by somewhat lower strength for 28 days, but over time the strength was leveled and after 90 days it even exceeded strength of concrete PCSp1. The increase in volume of entrained air in concrete mixes to 6.5; 7.0; 7.2% results in reduction of the early strength (after 3 days curing) for 8.6; 27 and 38.1% respectively, and strength after 28 days - 14.3; 22.7; 32.7% respectively.

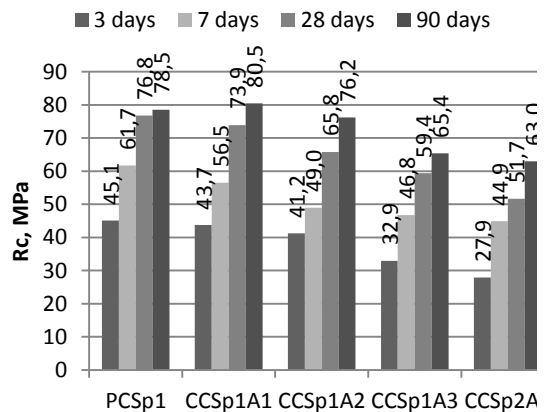


Figure 2 – Compressive strength of concretes

The full state diagrams of high strength concrete were built based on the results of tests of prism samples with initiated crack (Fig. 3).

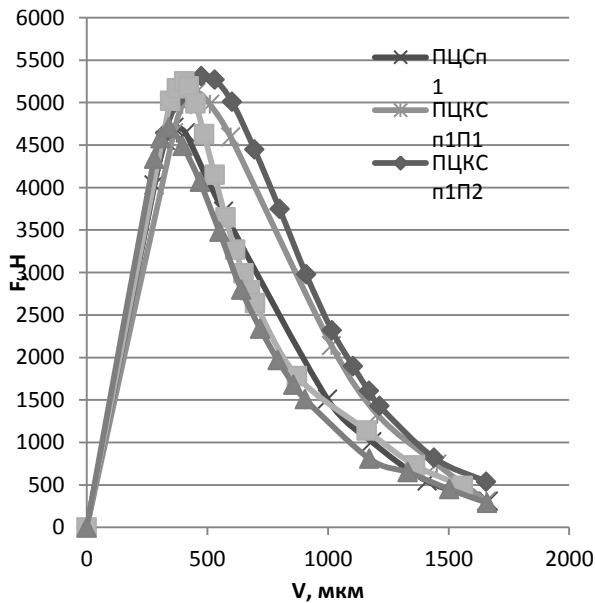


Рисунок 3 – Повні діаграми стану високоміцних дорожніх бетонів

Аналіз діаграм показує, що максимальне навантаження (5310 Н), за якого починає поширюватись макротріщина характерне для бетону ПЦКСп1П2. Конфігурація діаграми стану цього складу загалом є найкращою серед досліджуваних. Для бетону без мінеральних добавок ПЦСп1 характерне невисоке, приблизно рівне ПЦКСп2П4 значення навантаження (4710 Н), за якого відбувається злам діаграми, але повніша порівняно з ПЦКСп2П4 конфігурація спадної вітки діаграми.

Розраховані силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості високоміцних бетонів представлені у табл. 3.

За значеннями питомих енерговитрат на статичне деформування до моменту початку руху магістральної тріщини G_i , енерговитратами на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини W_1 , питомими ефективними енерговитратами на статичне руйнування G_F та в'язкістю руйнування K_i переважають показники для ПЦКСп1П2. Це пов'язано із оптимальним вмістом та рівномірним розподілом дрібнодисперсних бульбашок втягнутого повітря, які виступають демпферами напружень, що сприяє гальмуванню процесів мікротріщиноутворення на докритичній та сповільнює рух магістральної тріщини в

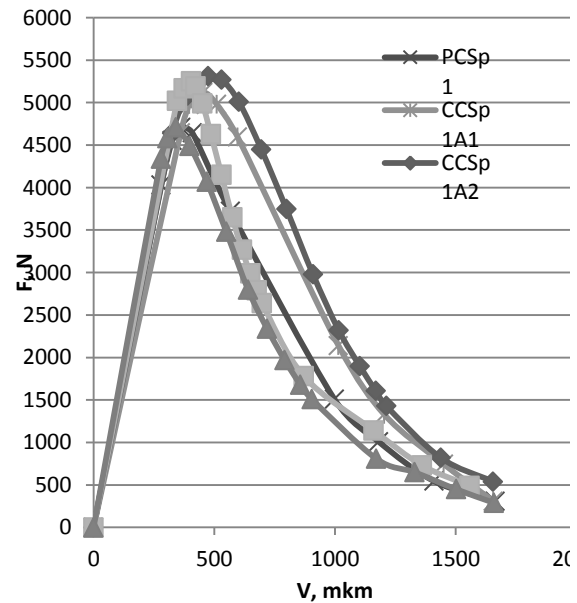


Figure 3 – Complete state diagrams of high-strength concrete

An analysis of diagrams shows that the concrete CCSp1A2 characterises by maximum load (5310 N) at which macrocrack begins to spread. The configuration of state diagrams of this concrete is the best among studied ones. Concrete without mineral additives PCSp1 is characterised by low, approximately equal to CCSp2A4 value of load (4710 N), for which there is a plot peak, but more complete in comparison to CCSp2A4 configuration of the descending branch of diagram.

The calculated power and energy characteristics of fracture toughness of high strength concrete presented in Table 3.

Values for CCSp1A2 specific energy consumption for static deformation at the beginning of the movement of the effective crack G_i , power consumption on the local static deformation in effective crack zone W_1 , effective specific energy consumption on the static fracture G_F and fracture toughness K_i was the best. It is due to the optimal content and uniform distribution of fine bubbles of entrained air, which acts as stress dampers, contributing to slowing down the process of microcrack formation in subcritical stage and slows movement of effective crack in the postpeak stage. The results

закритичній стадіях. Результати досліджень показали, що бетони ПЦКСП1П1 та ПЦКСП1П3 характеризуються відповідно на 29 та 37% вищими показниками G_i ніж ПЦСП1. Слід відзначити, що бетон з підвищеним вмістом суперпластифікатора (1,64 мас.%) та повітровтягувальної добавки (0,25 мас.%) ПЦКСП2П4 характеризується найнижчими параметрами тріщиностійкості.

Таблиця 3 – Силкові та енергетичні характеристики високоміцних бетонів

Умовне позначення бетону	G_i , Дж/м ²	$W_L \cdot 10^{-2}$, Н·м	G_{F_i} , Дж/м ²	K_i , МПа ^{1/2}
ПЦСП1	163,83	241,88	535,58	0,81
ПЦКСП1П1	224,45	261,15	625,82	0,83
ПЦКСП1П2	247,44	295,37	657,37	0,99
ПЦКСП1П3	194,59	227,42	538,44	0,88
ПЦКСП2П4	147,30	229,15	500,76	0,80

Значення міцності на розтяг при згині і модуля пружності при згині досліджених високоміцних бетонів корелюють з їх показниками тріщиностійкості (табл. 4), водночас значення міцності змінюється у вужчому діапазоні (6%) ніж модуля пружності (39%).

Таблиця 4 – Механічні характеристики високоміцних бетонів

Умовне позначення бетону	Міцність на розтяг при згині, R_{fb} , МПа	Модуль пружності при згині, МПа, $E_{fb} \cdot 10^{-3}$	Критерій крихкості, $\chi_{fb} \cdot 10^{-4}$, м
ПЦСП1	10,1	9,8	209
ПЦКСП1П1	10,6	13,0	170
ПЦКСП1П2	11,2	16,6	206
ПЦКСП1П3	11,1	11,6	174
ПЦКСП2П4	10,0	8,8	218

of research showed that the concretes CCSp1A1 and CCSp1A3 characterize by 29 and 37% respectively higher values of G_i than PCSp1. It should be noted that the concrete CCSp2A4 with high content of superplasticizer (1.64 wt.%) and air entraining agent (0.25 wt.%) is characterized by the lowest fracture parameters.

Table 3 - Force and power characteristics of high strength concrete

Mix identification	G_i , J/m ²	$W_L \cdot 10^{-2}$, N·m	G_{F_i} , J/m ²	K_i , MPa ^{1/2}
PCSp1	163,83	241,88	535,58	0,81
CCSp1A1	224,45	261,15	625,82	0,83
CCSp1A2	247,44	295,37	657,37	0,99
CCSp1A3	194,59	227,42	538,44	0,88
CCSp2A4	147,30	229,15	500,76	0,80

The value of tensile strength in bending and flexural modulus of elasticity of high-strength concretes correlates with its fracture parameters (Table 4). At the same time, the value of tensile strength varies in smaller range (6%) than in bending modulus of elasticity (39%).

Table 4 - Mechanical properties of high strength concrete

Mix identification	Tensile strength in bending, R_{fb} , MPa	Flexural modulus of elasticity, MPa, $E_{fb} \cdot 10^{-3}$	Fragility criteria, $\chi_{fb} \cdot 10^{-4}$, m
PCSp1	10,1	9,8	209
CCSp1A1	10,6	13,0	170
CCSp1A2	11,2	16,6	206
CCSp1A3	11,1	11,6	174
CCSp2A4	10,0	8,8	218

Висновки

Аналіз фізико-механічних характеристик та показників тріщиностійкості досліджених модифікованих високоміцних дорожніх бетонів дає змогу зробити такі висновки:

1. Модифікування мікроструктури високоміцних дорожніх бетонів комплексом з мінеральних добавок (цеоліт і вапняк) та добавкою повітровтягувальної дії покращує показники міцності, силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості.
2. Максимальною міцністю на стиск характеризуються розроблені високоміцні бетони, модифіковані органо-мінеральними добавками, на основі сумішей з об'ємом втягнутого повітря 4,3%.
3. Найвищі показники тріщиностійкості притаманні бетонам із об'ємом втягнутого повітря в діапазоні 4-7%, що корелює з рекомендованим об'ємом втягнутого повітря для забезпечення довговічності за критерієм морозостійкості.

Отже, одержані результати свідчать, що максимальні значення показників міцності та тріщиностійкості високоміцних дорожніх бетонів забезпечуються за різних об'ємів втягнутого повітря. Тому виявлені закономірності рекомендується враховувати при проектуванні складів високоміцних бетонів з повітровтягувальними добавками.

Література

1. Чистяков В. В., та ін. "Цементобетони для покриття доріг." Автомобільні дороги і дорожнє будівництво 85 (2012): 48-55.
2. Солодкий С. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах: Монографія. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка» - 2008. – 144 с.
3. Гамеляк І. П. Про ефективність використання високоміцного цементобетону для будівництва жорстких покриттів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2011, 81: 30-39.
4. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови (EN 206-1:2000, NEQ). – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 109 с.

Conclusions

Analysis of physical and mechanical properties and fracture parameters of studied modified high strength concretes for pavement enables to do the following conclusions:

1. Modification of the microstructure of high strength concrete for pavement by complex of mineral additives (zeolite and limestone) and additive of air entraining action improves the strength, power and energy characteristics of fracture.
2. High strength concrete modified by organic and mineral additives, based on mixes with entrained air volume of 4.3% characterizes by the highest compressive strength.
3. The highest fracture toughness characteristics inherent to concrete with volume of entrained air in the range of 4-7%. It correlates with the recommended volume of entrained air needed to ensure the durability of concretes exposed to freezing and thawing cycles.

Therefore, the obtained results indicate that maximum values of strength and fracture toughness of high strength concrete for pavements are provided at different volumes of entrained air. Thus, revealed peculiarities are recommended to take into account when designing high strength concretes with air entraining agent.

Literature

1. Chistyakov V., et al. "Cement concrete for road pavement." Roads and road construction 85 (2012): 48-55.
2. Solodkyy S. Fracture toughness of concretes on modified cements: Monograph. - Lviv: Publishing House of the National University "Lviv Polytechnic" - 2008. - 144 p.
3. Hamelyak I.P. The effectiveness of using high-strength cement concrete for construction of rigid pavements. Roads and road construction, 2011, 81: 30-39.
4. DSTU B V.2.7-176:2008. Building materials. Concrete and concrete mixes. General specifications (EN 206-1:2000, NEQ). - K: Minregionbud of Ukraine, 2010. - 109 p.

5. Гуняк О.М., Соболев Х.С., Марків Т.Є. Оптимізація складів спеціальних цеолітовмісних портландцементів / Наук.-техн. зб. "Містобудування та територіальне управління". Київ, 2014. – С. 139-143.
6. Markiv T., Sobol Kh., Franus M., Franus W., Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite, Archives of Civil and Mechanical Engineering. 16 (2016) 554–562.
7. Солодкий С. Й., Марків Т. Є., Холод Т.П. Способи регулювання тріщиностійкості високоміцних бетонів / Зб. наук. праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". – Рівне, 2015. - С. 357-362.
8. Вплив органо-мінеральних добавок на властивості високоміцних бетонів / Солодкий С. Й., Марків Т. Є., Гуняк О. М., Гостинецький Б.А. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ХНУСА, 2015. - С. 29-34.
9. ДСТУ Б В.2.7-214. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. - К.: Укрархбудінформ, 2010. - 43 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-227. Бетони. Методи визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при статичному навантаженні. - К.: Укрархбудінформ, 2010. - 23 с.
5. Hunyak O.M., Sobol H.S., Markiv T.Ye. Optimization of zeolite containing special Portland cements / Sc.-Tech. Coll. "Urban planning and territorial management" .– Kyiv, 2014. - P. 139-143.
6. Markiv T., Sobol Kh., Franus M., Franus W., Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite, Archives of Civil and Mechanical Engineering. 16 (2016) 554-562.
7. Solodkyy S.Y., Markiv T.Ye., Kholod T.P. Methods of fracture toughness regulation of high-strength concrete / Coll. Sc. Works "Resorce saving materials, structures, buildings and structures." - Rivne, 2015. - P. 357-362.
8. Impact of organo-mineral additives on the properties of high strength concrete / Solodkyy S.Y., Markiv T.Ye., Hunyak O.M., Hostynetskyy B.A. // Proc. international scientific conference. Kharkiv: KSTUCA, 2015. - P. 29-34.
9. DSTU B V.2.7-214. Concrete. Methods for determining the strength of control samples. - K.: Ukrarhbudininform, 2010. - 43 p.
10. DSTU B V.2.7-227. Concrete. Methods for determining the characteristics of the fracture (fracture toughness) under static loading. - K.: Ukrarhbudininform, 2010. - 23 p.

Рецензенти:

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.
Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.
Gameliak I.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **17.10.2016 р.**