

Streszczenie:

Opis procesów degradacji i mechanika kompozytów zbudowanych na matrycach cementowych lub wapiennych

W pracy doktorskiej zaproponowano opis procesów degradacji dla dwóch nowych materiałów kompozytowych jakimi są:

- a) Mieszanka Związana Spoiwem Hydraulicznym z domieszką miazgi gumowej [MZSH+G],
- b) Funkcyjnie Gradowany Beton Komórkowy [FGBK].

MZSH+G i FGBK powstały poprzez modyfikacje struktury wewnętrznej, przeprowadzone w celu poprawienia właściwości materiałów wyjściowych, jakimi były odpowiednio MZSH oraz Autoklawizowany Beton Komórkowy [ABK].

Zgodnie z brzmieniem I tezy niniejszej pracy, podstawowym zadaniem okruchów gumowych dodawanych do MZSH jest zwiększenie jej żywotności w konstrukcji podbudowy drogowej. W procesie projektowania MZSH+G zastosowano innowacyjne podejście polegające na tym, że gumą uzupełniana jest część porowatości naturalnej materiału. W ramach niniejszej pracy opracowano metodę zagęszczania MZSH+G. Wpływ zastosowania domieszki okruchów gumowych na właściwości MZSH i przebieg procesu jej degradacji wyznaczono za pomocą testów laboratoryjnych, takich jak: określenie nasiąkliwości, mrozoodporności, badania zmodyfikowaną metodą brazylijską, badania wytrzymałości na ściskanie, oraz test ściskania w warunkach obciążania - odciążania - dociążania. Ponadto wykonano analizy numeryczne przedstawiające wpływ wypełnienia okruchami gumowymi porowatej struktury na jej ekwiwalentne parametry sprężyste.

Badania eksperymentalne uzupełnione zostały o testy wirtualne belek zginanych z karbem. Testy te zostały przeprowadzone za pomocą złożonego wieloskalowego modelu numerycznego MZSH+G. W modelu tym w obszarze pęknięcia porowatość odwzorowano w postaci regularnych otworów rozproszonych w objętości sprężystego materiału. W częściach belki oddalonych od miejsca występowania pęknięcia materiał został zamodelowany jako ośrodek jednorodny. Proponowany model pozwala na analizy belek poddanych zginaniu przy uwzględnieniu fizycznych właściwości składowych MZSH:

- matrycy kompozytu,
- zastosowanej domieszki,
- warstw interfejsowych [ITZ] na styku guma-matryca cementowa.

W szczególności opisano parametry charakteryzujące przebieg procesu degradacji materiału.

We wnioskach końcowych zawarto ogólne zalecenia dotyczące projektowania MZSH+G, które zapewniają uzyskanie materiału o podwyższonej trwałości, opracowane na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Wykonane badania potwierdziły słuszność I tezy niniejszej pracy.

FGBK jest odpowiedzią na podstawowe wyzwanie stawiane przed przemysłem budowlanym, jakim jest tworzenie nowych rozwiązań służących podniesieniu sprawności energetycznej budynków. Inspiracją do stworzenia FGBK były rozwiązania pochodzące z inżynierii lotniczej, jakimi są funkcyjnie gradowane pianki metaliczne. Podstawową cechą FGBK jest to, że jego właściwości termiczne i mechaniczne zmieniają się w sposób ciągły wzdłuż jednego z wymiarów elementu konstrukcyjnego np. grubości ściany. W przeciwieństwie do obecnie występujących warstwowych elementów ścian, rozwiązanie to eliminuje stosowanie metalowych kotew łączących poszczególne warstwy kompozytu, a także zapobiega koncentracjom naprężeń w miejscach styku warstw o różnych właściwościach mechanicznych. Dodatkową korzyścią jest możliwość wykonania lokalnych wzmocnień np. w pobliżu krawędzi ściany, co pozwala zapobiegać ich uszkodzeniom w wyniku działania doraźnych obciążeń dynamicznych.

Gradient właściwości fizycznych w FGBK wprowadzono poprzez zmianę porowatości jako funkcji współrzędnej grubości ściany. Zaproponowany model numeryczny FGBK sformułowano na podstawie wyników badań przeprowadzonych dla ABK obecnie dostępnych w handlu. W badaniach laboratoryjnych dla 4 klas ABK określono niezbędne parametry modelu numerycznego takie jak:

- porowatość,
- właściwości sprężyste,
- wytrzymałość na ściskanie oraz rozciąganie przy rozłupywaniu,
- odporność na kruche pękanie w I oraz w II modelu obciążenia.

W pracy doktorskiej określono między innymi: moduł sprężystości podłużnej przy rozciąganiu, energię pęknięcia, krytyczne naprężenie powodujące inicjację pęknięć itd. Na podstawie uzyskanych wyników badań doświadczalnych dla gazobetonów o różnych gęstościach otrzymano zależności wyżej wymienionych właściwości materiałowych w funkcji porowatości, które posłużyły do zbudowania modelu numerycznego FGBK. Model opisuje odpowiedź FGBK na zadane obciążenia w zakresie sprężystym pracy materiału z uwzględnieniem procesów inicjacji i propagacji uszkodzeń. Osiągnięto bardzo dobrą zgodność wyników badań laboratoryjnych oraz testów wirtualnych przeprowadzonych za pomocą analiz numerycznych.

Zastosowana procedura badawcza umożliwiła sformułowanie również ogólnych zaleceń dotyczących opisywania materiałów budowlanych na potrzeby modelowania numerycznego.

Model FGBK opracowany w pracy doktorskiej może znaleźć zastosowanie w:

- procesie projektowania krzywych gradacji właściwości FGBK,
- modelowaniu procesu produkcji,
- projektowaniu samych konstrukcji budowlanych wykonanych z FGBK,
- analizach pracy sprężystej oraz procesu degradacji klasycznych betonów komórkowych ABK.

W pracy przedstawiono również proponowany proces produkcji FGBK na skalę przemysłową.

Analizy numeryczne wykonane dla przykładowego FGBK za pomocą przygotowanego modelu potwierdzają słuszność II tezy niniejszej pracy.

Ponadto dysertacja zawiera kompleksowe studia literaturowe obecnego stanu wiedzy dotyczącego struktury wewnętrznej kompozytów opartych na matrycach cementowych oraz wapiennych, metod jej badania oraz modelowania numerycznego.

Praca została podzielona na 10 rozdziałów. Jest kontynuacją prac prowadzonych w projekcie Centre of Excellence For Modern Composites Applied in Aerospace and Surface Transport Infrastructure FP7-245479 CEMCAST.

Summary:

Description of degradation processes and mechanics of composites build on cementitious or limestone matrixes

In this dissertation was proposed descriptions of degradation processes of two new composite materials:

- 1) Hydraulically bound mixture with rubber crumbs additive [MZSH+G],
- 2) Functionally Graded Autoclaved Concrete [FGBK].

MZSH+G and FGBK were created by modifications of the internal structure of the base materials: hydraulically bound mixture [MZSH] and autoclaved aerated concrete [ABK]. The goal of these modifications was to improve the mechanical and thermal properties of the mentioned traditional materials.

According to I thesis, the main role of the rubber crumbs additive in the structure of MZSH is to prolong lifetime of road foundations. In the designing process of the MZSH+G recipe, innovative approach was used. The idea of MZSH+G recipe is to fill the part of natural porosity of MZSH by rubber crumbs. In addition to setting recipes the compaction methods of MZSH+G were developed. The rubber crumbs effect on the MZSH properties and its degradation process were assessed in laboratory tests such as: water absorptivity, freezing-thawing cycles, loading-unloading-reloading process, modified Brazilian tests and uniaxial compression test. Moreover, the numerical analysis were performed to estimate the effect of filling the pores in material internal structure by rubber crumbs on its equivalent elastic properties.

The laboratory tests were completed by virtual tests of the bending beams with notch. These tests were performed by using the multi-scale numerical models of the MZSH+G. The porosity of MZSH+G in the cracking region of numerical models was reproduced in the form of regular holes, smeared in the volume of elastic material while the regions distant from the notch were modeled as homogenous. Numerical model, proposed in this dissertation, allows to analyze the beams subjected to bending, taking into account following physical properties of MZSH+G constituents:

- composite matrix,

- rubber additive,
- interface transmission zones between rubber and cement paste.

The parameters characterizing the degradation process were described specifically.

In the final conclusion the general recommendations for designing of MZSH+G, based on the conducted research, were included.

FGBK is an response to main challenge of the civil industry is facing with, what is the creation of new solutions to improve energy efficiency of buildings. Inspiration to create the FGBK were solutions used in aerospace engineering, such as functionally graded metallic foams. The main advantage of the FGBK is that its mechanical and thermal properties vary smoothly and continuously along one direction of the structural element e.g. thickness of a wall. In contrast to presently available commercial layered masonry elements this solution eliminates the use of anchors and the stress concentrations in interfaces between materials with incompatible mechanical and thermal properties. Moreover, the FGBK allows to create the local strengthening e.g. near the edges of walls to avoid damage due to exceptional dynamic mechanical loadings. Performed experiments proved the validity of the I thesis.

The gradation of physical properties of the FGBK was introduced by changes of the porosity, related to the wall thickness. Proposed numerical model of the FGBK was built on the basis of results of laboratory tests conducted on the ABK which are commercially available. In laboratory tests performed for 4 classes of the ABK the following properties, necessary to build numerical model, were assessed:

- porosity,
- elastic properties,
- compressive and splitting tension strengths,
- fracture parameters in I and II mode of fracture.

In this dissertation were specified among other things: the Young modulus in tensile conditions, fracture energies, critical stress intensity factors etc. The dependency of individual parameters on porosity were estimated on the base of experimental results of laboratory tests conducted for various ABK classes. These relations were used to build numerical model of FGBK. The numerical model describes response of the FGBK to applied loadings in elastic range and process of crack initiation and propagation. The

convergence of laboratory tests and numerical models achieved represented greatly satisfying level.

The applied research procedure allows to formulate the general rules of description of the building materials for needs of the numerical modeling.

Model of the FGBK developed in this dissertation can be applied in:

- designing of gradation curves of physical properties,
- modeling of manufacturing process,
- designing process of buildings made of FGBK,
- elastic analysis and process of degradation of the classical ABK.

Furthermore, in this dissertation was proposed the FGBK manufacturing process on the industrial scale.

The numerical analyses performed for exemplary FGBK proved the validity of the II thesis.

Moreover, this dissertation includes comprehensive studies of present state of knowledge concerning the internal structure of the composites built on cementitious and limestone matrixes, methods of its testing and numerical modeling.

This dissertation were divided into 10 chapters. The presented research is a continuation of work carried out within the project "Centre of Excellence For Modern Composites Applied In Aerospace And Surface Transport Infrastructure" FP7-245479 CEMCAST.