

# Struktura i właściwości kompozytów cementowych modyfikowanych nanocząstkami

Wioleta Iskra-Kozak

Nanotechnologia zajmuje się badaniem oraz tworzeniem świata w skali pojedynczych nanometrów, czyli miliardowych części metra. Jak dotąd, jest to najbardziej interdyscyplinarna dziedzina nauki, jaka kiedykolwiek powstała. Nanotechnologia jest synonimem rozwoju, nowoczesności i postępu. Coraz więcej technologii i materiałów stosowanych w budownictwie zostaje radykalnie zmienionych, wzbogaconych o dodatki nanomateriałów, a przez to udoskonalonych. Jednym z obiecujących modyfikatorów składu kompozytów cementowych jest nanokrzemionka (nano-SiO<sub>2</sub>). Liczba publikacji dotyczących wpływu nanokrzemionki na strukturę, właściwości i trwałość kompozytów cementowych stale rośnie.

Celem pracy była ocena wpływu zmiennego udziału modyfikatora w postaci nanokrzemionki do kompozytów cementowych o zróżnicowanym stosunku wodno-cementowym na parametry mechaniczne tych kompozytów (w tym odporność na pękanie według I modelu pękania) oraz strukturę kompozytów cementowych modyfikowanych nanokrzemionką (analiza fraktograficzna powierzchni przełomów kompozytów cementowych).

Na podstawie uzyskanych wyników badań odporności na pękanie zapraw modyfikowanych nanokrzemionką zaobserwowano wzrost odporności na pękanie tych zapraw w porównaniu z zaprawami wzorcowymi. Wzrost odporności na pękanie wykazano wraz ze wzrostem udziału nanokrzemionki w stosunku do masy spoiwa oraz wraz ze spadkiem stosunku woda/spoiwo. Dodatkowo wzrost wartości krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{Ic}^S$  uzyskano wraz z wiekiem zaprawy, a przeprowadzona analiza statystyczna pozwoliła na uzyskanie zależności funkcyjnych. Podano modele opisujące zmienność w czasie wytrzymałości na ściskanie  $f_{cm}$  i krytycznego współczynnika intensywności naprężeń  $K_{Ic}^S$  zapraw modyfikowanych nanokrzemionką. Ponadto przeprowadzono analizę struktury zapraw modyfikowanych nanokrzemionką w odniesieniu do analizy powstałych na skutek zniszczenia powierzchni przełomów. Zastosowanie geometrii fraktalnej umożliwiło opis powierzchni przełomów zapraw modyfikowanych nano-SiO<sub>2</sub> oraz pozwoliło na powiązanie morfologii powstałych powierzchni przełomów z odpornością na pękanie tych zapraw. Dowiedziono również możliwość opisu morfologii

powierzchni przełomów zapraw modyfikowanych nanokrzemionką przy użyciu wymiaru fraktalnego  $D$  i podano zależności funkcyjne między wymiarem fraktalnym  $D$  linii profilowej wydzielonej z powierzchni przełomu badanych zapraw a zmiennymi niezależnymi przyjętymi w planie eksperymentu.

Uzyskanie wyniki badań w znacznym stopniu poszerzają wiedzę na temat wpływu nanokrzemionki na strukturę i właściwości zapraw oraz potwierdzają możliwości ilościowego opisu zależności między technologią, mikrostrukturą i właściwościami zapraw modyfikowanych nanokrzemionką.

Słowa kluczowe: nanokrzemionka, zaprawa cementowa, odporność na pękanie, fraktografia

# Structure and properties of cement composites modified with nanoparticles

Wioleta Iskra-Kozak

Nanotechnology re-researches and creates the world on the scale of single nanometers, i.e. billionths of a meter. It is the most interdisciplinary field science that has been established so far. Nanotechnology means development, modernity and progress. More and more technologies and materials used in construction are being radically modified and enriched with nanomaterial additives, and thus improved.

One of the promising modifiers of the composition of cement composites is nanosilica (nano-SiO<sub>2</sub>). The number of publications on the influence of nanosilica on the structure, properties and durability of cement composites are constantly increasing.

The aim of the study was to evaluate the impact of the variable proportion of the modifier in the form of nanosilica used in cement composites with a varying water-cement ratio on the mechanical parameters of these composites (including fracture resistance according to the first cracking model) and the structure of nanosilica-modified cement composites (fractographic analysis of the fracture surfaces of cement composites).

An increase in the fracture resistance of nanosilica-modified mortars was observed on the basis of the results obtained by comparing these mortars with the reference mortars. The increase in fracture resistance was shown with an increase in the proportion of nanosilica to the weight of the binder and with a decrease in the water/binder ratio.

In addition, an increase in the value of the critical stress intensity factor  $K_{Ic}^S$  was obtained as the mortar was aging and the performed statistical analysis allowed for obtaining functional relationships. Models describing the time variability of the compressive strength  $f_{cm}$  and the critical stress intensity factor  $K_{Ic}^S$  of mortars modified with nanosilica are given. Additionally, an analysis of the structure of mortars modified with nanosilica was carried out in relation to the analysis of the fractures resulting from the destruction of the surface.

The application of fractal geometry enabled description of the fracture surfaces of nano-SiO<sub>2</sub> modified mortars and to relate the morphology of the fracture surfaces formed with the

fracture resistance of these mortars. The possibility of describing the morphology of the fracture surfaces of mortars modified with nanosilica using the fractal dimension  $D$  was also proved, and the functional relationships between the fractal dimension  $D$  of profile line separated from the fracture surface of the tested mortars and the independent variables adopted in the experiment plan were given.

The obtained research results significantly broaden the knowledge of the influence of nanosilica on the structure and properties of mortars and confirm the possibility of a quantitative description of the relationship between technology, microstructure and properties of mortars modified with nanosilica.

Keywords: nanosilica, cement mortar, fracture toughness, fractography