

*Use of green nanomaterials in the construction of sport stadiums***Wykorzystanie zielonych nanomateriałów
w budowie stadionów sportowych**

DOI: 10.15199/62.2023.12.12

Dodanie wielościennych nanorurek węglowych (0,04% mas.) i dodecylbenzenosulfonianu sodu (0,4% mas.) do wodnej zawiesiny fosfogipsu budowlanego, a następnie jego obróbka ultradźwiękowa prowadzona przez 60 min w celu rozproszenia zawiesiny spowodowała wzrost adyabatycznej wytrzymałości na zginanie i adyabatycznej wytrzymałości na ściskanie do odpowiednio 5,04 MPa i 17,55 MPa. Mikrostrukturę gipsu badano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej. Ulepszone właściwości mechaniczne gipsu mogą być wykorzystane przy budowie stadionów sportowych.

Słowa kluczowe: nanomateriał, stadion sportowy, wielościenne nanorurki węglowe, włókno węglowe

The addn. of multi-walled C nanotubes (0.04% by mass) and Na dodecylbenzenesulfonate (0.4% by mass) to the aq. slurry of P building gypsum and subsequent ultrasonic treatment for dispersing the slurry for 60 min resulted in increasing adiabatic flexural strength and adiabatic compressive strength of the gypsum up to of 5.04 MPa and 17.55 MPa, resp. Microstructure of the gypsum was studied by scanning electron microscopy. The improved mech. properties of the gypsum were of advantage in construction of sport stadiums.

Keywords: nanomaterial, sport stadium, multi-walled carbon nanotube, carbon fibre

Nanomateriały mają unikatowe właściwości i szerokie perspektywy zastosowania. Te nowe materiały, opracowane na przełomie wieków, przyciągnęły ogromną uwagę świata nauki i biznesu¹⁻³). Materiały nanokompozytowe są produktem wykorzystania zdobyczy nanonauki i nanotechnologii. Są one szeroko stosowane w takich dziedzinach gospodarki, jak elektronika, motoryzacja, nowe materiały energetyczne i lotnictwo⁴).

Powszechnie stosowane metody dyspersji nanowłókien węglowych obejmują mieszanie mechaniczne, obróbkę ultradźwiękową i modyfikację powierzchni. W praktycznych zastosowaniach więcej uwagi poświęca się łącznemu wykorzystaniu kilku metod dyspergowania⁵⁻⁸). Ze względu na swoje doskonałe parametry, nanorurki węglowe (CNT) są uważane za jeden z najczęściej stosowanych materiałów w przyszłości⁹).

Wykorzystanie nanomateriałów do modyfikacji materiałów budowlanych staje się coraz bardziej powszechne, a CNT są nowym i idealnym nanomateriałem wzmacniającym kompozyty¹⁰⁻¹³). Obecnie najczęściej stosowane są wielościenne CNT, ale łatwo się one ze sobą płączą, tworząc aglomeraty i muszą być rozpraszane za pomocą ultradźwięków i środków dyspergujących¹⁴⁻¹⁶). Wielościenne CNT są szeroko stosowane w materiałach cementowych, a domieszka odpowiedniej ilości nanomateriałów może

Nanomaterials have unique properties and broad application prospects. They are new cross-century materials and have attracted great attention from scientific and business areas¹⁻³). New nanocomposite materials are the product of the combination of nanoscience and nanotechnology. They are widely used in industrial fields such as electronics, automobiles, new energy materials and aerospace⁴).

At present, the commonly used dispersion methods of carbon nanofibers include mechanical stirring, ultrasonic treatment and surface modification. In practical application, more attention is paid to the composite use of several dispersion methods⁵⁻⁸). Because of its excellent performance, carbon nanotubes (CNT) are considered as one of the most widely used materials in the future⁹).

In the field of building materials, use of nanomaterials for their modification is becoming more and more widespread, and carbon nanotubes are a new and ideal nano-strengthening material for composites¹⁰⁻¹³). At present, the most widely used carbon nanotubes are multi-walled CNT, but they are easily entangled with each other to form agglomerates, and need to be dispersed with the help of ultrasound and dispersants¹⁴⁻¹⁶). Multi-walled CNT are widely used in cementitious materials, and the doping of appropriate amount of nanomaterials can improve the strength, viscosity and other properties of cementitious materials¹⁷⁻²⁰).

Nanostructured materials are natural or synthetic particles with at least one dimension between 1 nm and 100 nm.

* Address for correspondence/Adres do korespondencji:

College of Physical Education and Health, Geely University of China, Chengdu Sichuan 641423, China; e-mail: weilixin8999@hotmail.com

poprawić wytrzymałość, lepkość i inne właściwości materiałów cementowych^{17–20}.

Materiały nanostrukturalne to naturalne lub syntetyczne cząstki o co najmniej jednym wymiarze w zakresie 1–100 nm. Ich zachowanie nie może być opisane w ramach tradycyjnej mechaniki, ale podlegają one mechanice kwantowej. W porównaniu z tradycyjnymi materiałami nanomateriały mają szczególne właściwości.

CNT różnią się w sposób istotny od tradycyjnych porowatych materiałów węglowych strukturą, właściwościami i zastosowaniem. Połączenie struktury nanosieciowych materiałów CNT z ich zaletami w postaci dużej powierzchni właściwej i dużej przewodności może przynieść dobry efekt synergiczny i ostatecznie doprowadzić do uzyskania niezwykłych, wszechstronnych właściwości. Ponadto, zaletą CNT są niskie koszty i stabilne właściwości fizyczne i chemiczne, dzięki czemu mają one dobre perspektywy zastosowania.

W pracy stosowano wielościenne CNT do modyfikacji fosforowego gipsu konstrukcyjnego w celu zbadania ich wpływu na właściwości mechaniczne gipsu w różnych warunkach domieszkiwania i dyspergowania oraz w celu zbadania wpływu wielościennej CNT na wytrzymałość gipsu.

Część doświadczalna

Materiały

Materiały wykorzystane w badaniu zostały przedstawione w tabeli 1. Długość CNT wynosiła 10–20 μm , średnica 100–300 nm, a zawartość była nie mniejsza niż 95%.

Metodyka badań

Próbkę 1200 g fosforowego gipsu budowlanego zmieszano z czystą wodą (480 g) i domieszkiowano wodną dyspersją wielościennej CNT (0,01–0,07%). Następnie zawiesinę zdyspergowano, wykorzystując (i) metodę ultradźwiękową przez 60 min po dodaniu dodecylobenzenosulfonianu sodu (0,4% mas.) (metoda ultradźwiękowo-dyspergująca), lub (ii) metodę ultradźwiękową bez dodatku dyspergatorów (metoda ultradźwiękowa), lub (iii) metodę konwencjonalnego mieszania po dodaniu dodecylobenzenosulfonianu sodu (metoda dyspergująca), a następnie wleto do formy (40×40×160 mm), ogrzewano w piecu w temp. 50°C i ostatecznie utwardzono przez 24 h w warunkach naturalnych do uzyskania stałej masy.

The behavior cannot be described from the viewpoint of traditional mechanics, but it must be studied by quantum mechanics. Compared with traditional materials, nano-materials have some special properties.

As a new kind of porous carbon material, CNT differ significantly from traditional porous carbon materials in their structure, properties and applications. Combining the nano-network structure of CNT materials with their advantages of high specific surface area and high conductivity can play a good synergistic effect and finally obtain extraordinary comprehensive properties. In addition, CNT materials also have the advantages of low cost and stable physical and chemical properties, so they have a good application prospect.

In the study, multi-walled CNT were used to modify phosphorus construction gypsum, to explore their effect on the mechanical properties of the gypsum under varying doping and dispersion conditions, and to investigate the mechanism of multi-walled carbon nanotubes on the strength of the gypsum.

Experimental

Materials

The materials used in the study were listed in Table. The CNT had length 10–20 μm , diameter 100–300 nm, and the content is not less than 95%.

Methods

Sample 1200 g of phosphorus building gypsum was mixed with clean water (480 g) and doped with an aqueous dispersion of multi-walled CNT (0.01–0.07%). Then, the slurry was dispersed by (i) an ultrasonic method for 60 min after addition of sodium dodecylbenzenesulfonate (0.4% by mass) (ultrasonic-dispersant method), or (ii) by ultrasonic treatment without any addition of dispersants (ultrasonic method), or (iii) by conventional mixing after addition of sodium dodecylbenzenesulfonate (dispersant method), then poured into a mould (40×40×160 mm), heated at 50°C in an oven and finally cured for 24 h under natural conditions until constant mass.

The adiabatic flexural and adiabatic compressive strengths were determined by standard methods. Morphology (microstructure) of hardened phosphorus building gypsum was studied by SEM.

Table. Materials used in the study

Tabela. Materiały wykorzystane w badaniu

Material/Material	Producer/Producent	Quality/Jakość
Phosphorus building gypsum/ Fosforowy gips budowlany	Sinochem Chongqing Fuling Chemical Co., Ltd	commercial product/produkt komercyjny
Sodium dodecylbenzenesulfonate/ Dodecylobenzenosulfonian sodu	Shandong Hengli Additives Co., Ltd	reagent-grade chemical/substancja chemiczna klasy odczynnikowej
Multi-walled CNT/Wielościenne CNT	Jiangsu Tiannai Technology Co., Ltd	reagent-grade chemical/substancja chemiczna klasy odczynnikowej

Results and discussion

Effect of multi-walled CNT on adiabatic flexural strength of the gypsum

Under the same dispersion method, the adiabatic flexural strength of phosphorus construction gypsum showed a tendency to increasing and then to decreasing with the increase of multi-walled CNT doping (Fig. 1). When the dosage of multi-walled CNT was the same, the enhancement effect of the dispersion method on the adiabatic flexural strength of phosphorus construction gypsum decreased according (1):

$$\text{ultrasonic-dispersant method} > \text{ultrasonic method} > \text{dispersant method} \quad (1)$$

When the dosage of multi-walled carbon nanotubes was 0.03%, the flexural strength of phosphorus construction

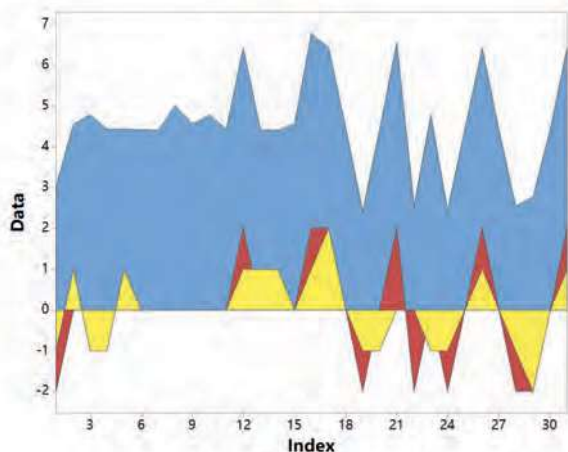


Fig. 1. Effect of multi-walled CNT doping and dispersion on the adiabatic strength of phosphorus building gypsum

Rys. 1. Wpływ domieszkowania i dyspersji wielościennych CNT na wytrzymałość adyabatyczną fosforowego gipsu budowlanego

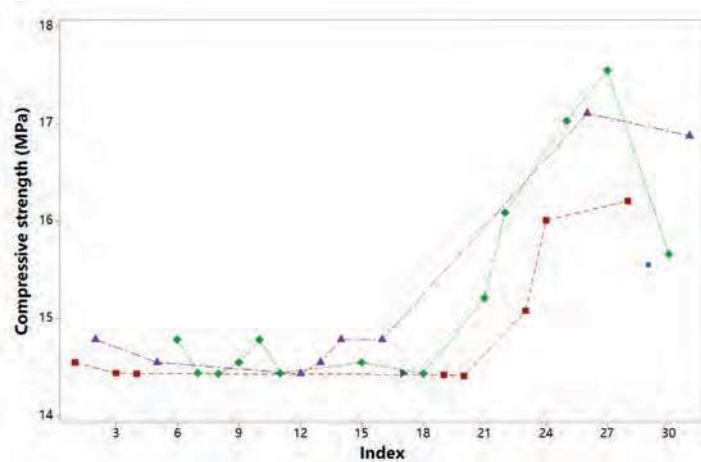


Fig. 2. Effect of multi-walled CNT doping and dispersion on adiabatic compressive strength of phosphorus building gypsum

Rys. 2. Wpływ domieszkowania i dyspersji wielościennych CNT na wytrzymałość adyabatyczną na ściskanie fosforowego gipsu budowlanego

Wytrzymałość na adyabatyczne zginanie i adyabatyczne ściskanie określono standardowymi metodami. Morfologię (mikrostrukturę) utwardzonego fosforowego gipsu budowlanego zbadano za pomocą SEM.

Wyniki badań i ich omówienie

Wpływ wielościennych CNT na adyabatyczną wytrzymałość gipsu na zginanie

Po zastosowaniu tej samej metody dyspersji adyabatyczna wytrzymałość na zginanie fosforowego gipsu konstrukcyjnego wykazywała tendencję do wzrostu, a następnie do spadku wraz ze wzrostem domieszki wielościennych CNT (rys. 1). Gdy dodatek wielościennych CNT był taki sam, wpływ metody dyspersji na adyabatyczną wytrzymałość na zginanie fosforowego gipsu budowlanego zmniejszał się zgodnie z (1):

$$\text{metoda ultradźwiękowo-dyspergująca} > \text{metoda ultradźwiękowa} > \text{metoda dyspergująca} \quad (1)$$

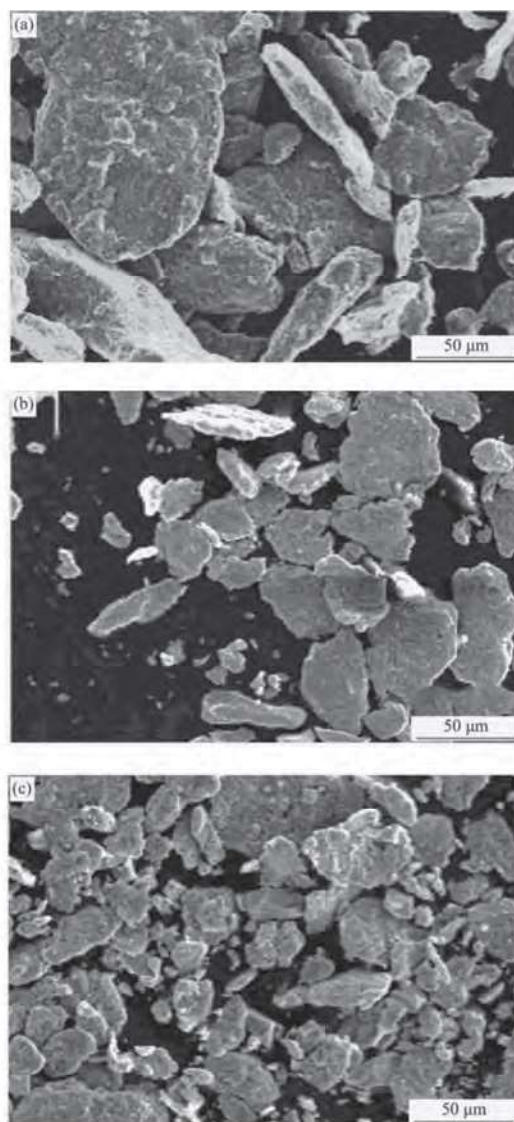


Fig. 3. SEM images ($\times 5000$) of phosphorus building gypsum with different multi-walled CNT doping; (a) without any addition, (b) with addition of 0.04% or (c) 0.08% multi-walled CNT

Rys. 3. Obrazy SEM ($\times 5000$) fosfogipsu budowlanego z różnym domieszkowaniem wielościennych CNT; (a) bez dodatku, (b) z dodatkiem 0,04% i (c) 0,08% wielościennych CNT

Gdy dawka wielościennych CNT wynosiła 0,03%, wytrzymałość na zginanie fosforowego gipsu konstrukcyjnego była optymalna dla wszystkich 3 metod dyspersji, czyli metody ultradźwiękowo-dyspergującej, ultradźwiękowej i dyspergującej, i wynosiła odpowiednio 5,04 MPa, 4,78 MPa i 4,55 MPa. Wartości te wzrosły o odpowiednio 42,72%, 39,70% i 36,99% w porównaniu z 3,87 MPa dla grupy kontrolnej (bez dodatku CNT).

Wpływ wielościennych CNT na adiatyczną wytrzymałość gipsu na ściskanie

Wpływ domieszkowania wielościennych CNT i metody dyspergowania na adiatyczną wytrzymałość na ściskanie fosforowego tynku budowlanego był podobny do wpływu tych parametrów na adiatyczną wytrzymałość na zginanie (rys. 2). Gdy domieszka wielościennych CNT wynosiła 0,04%, adiatyczna wytrzymałość na ściskanie fosforowego gipsu konstrukcyjnego uzyskanego metodą ultradźwiękowo-dyspergującą, ultradźwiękową i dyspergującą wynosiła odpowiednio 17,55 MPa, 16,21 MPa oraz 15,55 MPa, i była o odpowiednio 39,50%, 28,86% i 23,61% większa niż w przypadku grupy kontrolnej, dla której wynosiła 12,58 MPa. Efekt dyspersji po zastosowaniu metody ultradźwiękowo-dyspergującej był większy niż w przypadku metod ultradźwiękowej i dyspergującej, gdy dawka wielościennych CNT pozostała niezmienną.

Wpływ wielościennych CNT na morfologię mikroskopową gipsu

Mikroskopowe obrazy morfologii utwardzonego fosfogipsu budowlanego bez żadnego dodatku oraz z dodatkiem 0,04% i 0,08% wielościennych CNT, uzyskanego metodą dyspersji ultradźwiękowej pokazano na rys. 3.

Wnioski

Dodatek wielościennych CNT (0,04%) do fosfogipsu budowlanego spowodował wzrost jego adiatycznej wytrzymałości na zginanie i adiatycznej wytrzymałości na ściskanie do odpowiednio 5,04 MPa i 17,55 MPa. Mikrostruktura gipsu została zbadana za pomocą SEM. Ulepszone właściwości mechaniczne są korzystne przy wykorzystaniu materiału do budowy stadionów sportowych.

gypsum was optimal for all 3 dispersion methods (ultrasound-dispersant, ultrasound and dispersant), which were 5.04 MPa, 4.78 MPa and 4.55 MPa, respectively, and increased by 42.72%, 39.70% and 36.99%, respectively, when compared to 3.87 MPa for the blank group (no addition of CNT).

Effect of multi-walled CNT on the adiabatic compressive strength of the gypsum

The effects of multi-walled CNT doping and dispersing method on the adiabatic compressive strength of phosphorus building plaster were similar to the adiabatic flexural strength (Fig. 2). When the doping of multi-wall carbon nanotubes was 0.04%, the adiabatic compressive strength of phosphorus construction gypsum under three dispersing of ultrasound-dispersant, ultrasound and dispersant methods was 17.55 MPa, 16.21 MPa and 15.55 MPa, respectively, which were 39.50%, 28.86% and 23.61% higher than that of the blank group of 12.58 MPa, respectively. The dispersion effect of the ultrasonic-dispersant method was higher than that of the ultrasonic and dispersant methods when the dosage of multi-walled CNT remained unchanged.

Effect of multi-walled CNT on the microscopic morphology of the gypsum

The microscopic morphology of hardened phosphorus building gypsum without any addition (a) and with addition of 0.04% (b) and 0.08% or (c) multi-walled CNT under the ultrasound-dispersant dispersion method was shown in Fig. 3.

Conclusion

The addition of multi-walled CNT (0.04%) to the phosphorus building gypsum resulted in increasing its adiabatic flexural strength and adiabatic compressive strength up to of 5.04 MPa and 17.55 MPa, respectively. Microstructure of the gypsum was also studied by SEM. The improved mechanical properties are of advantage in construction of sport stadiums.

Received/Otrzymano: 26-10-2023

REFERENCES/LITERATURA

- [1] D. Fong, G.M. Andrews, A. Adronov, *Polym. Chem.* 2018, **9**, No. 21, 2873.
- [2] V. Bhullar, Navjyoti, R. Singh, *ECS Transactions* 2022, **107**, No. 1, 15281.
- [3] H. Shukla, Y.S. Sravan, A. Badagabettu, *ECS Transactions* 2022, **107**, No. 1, 16157.
- [4] P. Bajurko, *J. Thermoplast. Compos. Mat.* 2021, **34**, No. 3, 303.
- [5] D. Quan, J. Labarga Urdaniz, A. Ivankovic, *Mater. Des.* 2018, **143**, No. 7, 81.
- [6] L. Santo, D. Bellisario, L. Iorio et al., *Mater. Plast.* 2020, **57**, No. 1, 86.
- [7] L. Iorio, L. Santo, F. Quadrin et al., *Mater. Plast.* 2020, **57**, No. 1, 80.
- [8] R.M. Santos, D. Vale, J. Rocha et al., *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct. (FFEMS)* 2019, **42**, No. 7, 521.
- [9] F.T. Fisher, R.D. Bradshaw, L.C. Brinson, *Appl. Phys. Lett.* 2002, **80**, 4647.
- [10] A.B. Al Tahhan, M. Alkhedher, A.H.I. Mourad, M. Ramadan, M.A. Shehadeh, *Comput. Mater. Sci.* 2023, **228**, 112346.
- [11] M. Al-Khedher, C. Pezeshki, J. McHale, F. Knorr, *J. Mater. Sci. Technol.* 2011, **27**, 301.
- [12] M.A. Al-Khedher, C. Pezeshki, J.L. McHale, F.J. Knorr, *Nanotechnology* 2007, **18**, 355703.
- [13] V.N. Popov, *New J. Phys.* 2004, **6**, 17.
- [14] M. Brcic, M. Canadija, J. Brnic, *Procedia Eng.* 2015, **100**, 213.
- [15] R. Rafiee, *Compos. Struct.* 2013, **97**, 304.
- [16] Y. Zhang, Y. Xu, H. Liu, B. Sun, *Food Chem.* 2022, **394**, 133467.
- [17] Y. Inoue, K. Kakihata, Y. Hirono, T. Horie, A. Ishida, H. Mimura, *Appl. Phys. Lett.* 2008, **92**, 213113.
- [18] S. Zhang, S.L. Mielke, R. Khare, D. Troya, R.S. Ruoff, G.C. Schatz, T. Belytschko, *Phys. Rev. B* 2005, **71**, 115403.
- [19] K. Sharma, K.K. Saxena, M. Shukla, *Procedia Eng.* 2012, **38**, 3373.
- [20] Y. Yao, Z. Li, C.P. Wong, *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.* 2013, **3**, No. 11, 1804.