

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Ariel University (Ізраїль)
University North (Хорватія)
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi (Румунія)
Politechnika Lubelska (Польща)
ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних
конструкцій»
Академія будівництва України
Українська академія архітектури
ТОВ «Гефест»
НВЦ «Екострой»
ТОВ «Стікон»



ЗБІРНИК ТЕЗ
міжнародної науково-технічної
конференції
Структурування та руйнування
композиційних будівельних матеріалів
та конструкцій



27-28 квітня 2023 р.
м. Одеса

Оргкомітет

Ковров А. В., к.т.н., проф., заслужений діяч науки і техніки України, голова територіального відділення Академії будівництва України, голова регіонального представництва Української академії архітектури, ректор Одеської державної академії будівництва та архітектури, **голова оргкомітету;**

Кровяков С. О., д.т.н., проф., проректор з НР Одеської державної академії будівництва та архітектури, **заступник голови;**

Суханов В. Г., д.т.н., проф., директор Будівельно-технологічного інституту Одеської державної академії будівництва та архітектури, науковий керівник НВЦ «Екострой», **заступник голови;**

Заволока М. В. к.т.н., проф., завідувач кафедри ВБК Одеської державної академії будівництва та архітектури, **заступник голови;**

Вировой В. М., д.т.н., проф. кафедри ВБК Одеської державної академії будівництва та архітектури, **заступник голови;**

Барабаш І. В., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Бумбурас В. П., керівник ТОВ «Гефест»;

Дворкін Л. Й., д.т.н., проф., Національний університет водного господарства та природокористування;

Дерев'янко В. Н., д.т.н., проф., Придніпровська державна академія будівництва та архітектури;

Кривенко П. В., д.т.н., проф., Київський національний університет будівництва і архітектури;

Коробко О. О., д.т.н., доц., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Карпюк В. М., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Крючков Л. Я., директор ТОВ «Стікон»;

Лепадату Д., PhD, проф., Gheorghe Asachi Technical University of Iasi (Румунія);

Ляшенко Т. В., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Мартинов В. І., д.т.н., доц., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Мішутін А. В., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Нетеса М. І., д.т.н., проф., Український державний університет науки і технологій;

Плугин А. А., д.т.н., проф., Український державний університет залізничного транспорту;

Руссу І. В., д.т.н., проф., Технічний університет Молдови (Молдова);

Рибаков Ю., д.т.н., проф., Ariel University (Ізраїль);

Саницький М. А., д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка»;
Сербінов О. М., офіційний представник «МАРЕІ Україна» на півдні України;
Солодо Б., PhD, проф., University North (Хорватія);
Фаренюк Г. Г., д.т.н., проф., директор ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»;
Фіц С. Б., д.т.н., проф. Politechnika Lubelska (Польща);
Шинкевич О. С., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури.

CHLORIDE BINDING IN PORTLAND CEMENT SYSTEMS WITH CARBONATE ADDITIVES

Zhuravel Vitalii

(Ukrainian State University of Railway Transport)

Rucińska Teresa, DSc, Borziak Olga, DSc

(West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland)

Corrosion of steel reinforcement of reinforced concrete structures, which is caused by chlorides, poses a serious threat to global infrastructure. The main sources of chloride ions exposure to reinforced concrete are aqueous solutions containing chlorides – seawater, anti-icing salts. With the penetration of chlorides into concrete and reaching a critical concentration, depassivation occurs, and then corrosion of steel reinforcement.

Important parameters that determine the risk of corrosion caused by chlorides are: the ratio of the concentrations of chloride and hydroxyl ions in the pore solution; diffusion coefficient of chloride ions through concrete.

Chlorides diffuse deep into the concrete from an external source in accordance with Fick's laws. However, other factors also influence the diffusion process, including ion exchange and the binding of chlorides into the C–S–H and AFm phase(s) [1]. Only the unbound part of the chloride dissolved in the liquid phase of concrete has a destructive effect on steel. Thus, it is useful to have accurate information about the distribution of chloride between free and bound states.

Many works [1-3 and etc.] are devoted to the study of the effect of chlorides on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. The ability of a hydrated cement paste to accumulate chlorides in the resulting hydrates determines the protective properties of concrete in relation to steel reinforcement.

As shown in [2], chloride, penetrating into the hardened cement paste, easily displaces sulfate from monosulfoaluminate AFm ($\text{SO}_4\text{-AFm}$). At a low chloride concentration in the solution, the intermediate Kusel salt $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{Cl})(\text{SO}_4)_{0.5}(\text{OH})_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ is formed, and at a high chloride concentration, Friedel's salt $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{Cl})_{1.95}(\text{OH})_{12.05}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ is formed. The formation of Friedel's salt is a mechanism for slowing down the diffusion of chloride ions deep into the concrete and reducing their concentration in the liquid phase. At the same time, sulfate ions are released from the monosulfoaluminate and ettringite is formed. Additional formation of ettringite leads to a significant increase in the molar volume of solids.

The addition of carbonates has a significant effect on the mineral composition of hydration products and the structure of cement systems. The

finely dispersed carbonate additive in the process of Portland cement hydration interacts with tricalcium aluminate to form calcium hydrocarboaluminates. A predominantly low-carbonate form of the $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ type is formed, which belongs to the hexagonal AFm phases. In this case, only a small amount of calcium carbonate (4-5 wt.%) plays an active structure-forming role due to the inclusion of hexagonal AFm phases into the structure.

The process of structure formation in cement systems with carbonate additives differs for additives obtained from rocks of different genetic types. According to [4] after joint grinding with Portland cement clinker, limestone provides a fine fraction (less than 5 microns) in cement. This helps to increase the activity of mixed Portland cement by optimizing the particle size distribution and providing a wider range of grain distribution by fractions. Thus, the volume of voids between the clinker grains is reduced. As noted in the work [5] the presence of finely dispersed chalk in the cement stone composition results in a change of the phase composition of the hydrates of new formations, i.e. it results in a decreased content of the free calcium hydroxide, the binding of aluminate phases to form stable hydration products – calcium hydrocarbonate, and and formation of additional low-base hydrosilicates. The use of this additive contributes also to the compaction of the microstructure of cement stone due to the occupation by additive grains of the vacancies in the gaps between the cement grains and due to an increased dispersion of hydration products for which calcite particles serve as crystallization centers.

The work [1] investigated phase transformations in cement systems with the addition of carbonates, which are exposed to an aggressive environment with chlorides. As the chloride content increases, the carbonate ions in the AFm are replaced by chloride, forming a Friedel's salt. The released carbonate ions bind in calcite. The volume change in this case is much less than in a carbonate-free system.

The analysis of the process of binding chlorine ions in concrete structures theoretically confirms the effectiveness of the use of carbonate additives to increase the corrosion resistance of reinforced concrete structures that are exposed to aggressive environments containing chlorides. In carbonate-free systems, when exposed to chlorides, the amount of ettringite and Friedel's salt increases and there is a significant increase in the molar volume of solids. The presence of a reactive carbonate significantly reduces the change in molar size during the formation of the Friedel's salt and hence the possibility of expansion. This is a positive argument for including carbonate in cement: to mitigate the expansion potential that occurs when chlorides enter. It should be taken into account that the

processes of structure formation in concrete with carbonate additives will be significantly affected by the properties of the additive (the genetic type of the original rocks, the dispersion of particles). A series of experimental studies is planned to confirm the presented theoretical conclusions.

References

1. Cherif R., Hamami Ameer El Amine, Aït-Mokhtar A., Bosschaerts W. Thermodynamic equilibria-based modelling of reactive chloride transport in blended cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 2022, **156**, 106770.
2. Balonis M., Lothenbach B., Le Saout G., Fredrik Glasser F.P. Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2010, **40** (7), 1009-1022.
3. Klaartje De Weerd. Chloride binding in concrete: recent investigations and recognised knowledge gaps: RILEM Robert L'Hermite Medal Paper 2021. *Materials and Structures*, 2021, **54**, 214.
4. Sanytsky M., Ushero-Marshak A., Kropyvnytska T., Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite, and limestone. *Cement Wapno Beton*, 2020, **25**(5), 416-427
5. Borziak O., Chepurna S., Zidkova T., Zhyhlo A., Ismagilov A. Use of a highly dispersed chalk additive for the production of concrete for transport structures. *MATEC Web Conf.*, 2018, **230**, 03003.

З Б І Р Н И К

тез доповідей міжнародної конференції

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ, МІЦНІСТЬ ТА РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

27-28 квітня 2023 р.

(українською, англійською та французькою мовами)

Підписано до друку _____ 2023 р.
Формат 60x84/16 Папір офсетний Гарнітура Times
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 9,42.
Наклад 70 прим. Зам. №18-34

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА