

УДК 691.33

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.31

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия (технические науки)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОМАРОЧНОГО ГИПСА

Бруяко М.Г.¹, Ергенян А.М.¹, Швецова В.А.¹, Якупова Ю.М.¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

АННОТАЦИЯ

В современном строительстве одним из главных векторов развития является ускорение темпов строительного производства. Использование химических добавок не всегда оправдано с технической и экономической точек зрения. Обработка сырьевых компонентов в низкотемпературной неравновесной плазме – это экологически безопасный, эффективный способ, не требующий сложной модификации и переналадки технологического оборудования. Модификация сырьевых компонентов в ННТП приводит к сокращению сроков схватывания, ускорению твердения неорганических вяжущих, а также к повышению эксплуатационных характеристик материалов и изделий. В данной работе исследовано влияние низкотемпературной плазмы на свойства высокомарочного гипса. Обработке подвергались гипсовые суспензии с концентрацией гипса 3 и 5% которые вводились в гипс с водой затворения. Доказано, что использование плазмомодифицированных гипсовых суспензий ускоряет схватывание гипсового теста до 35,5% и увеличивает прочность гипсового камня при изгибе до 10,5%, при сжатии – до 22%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гипсовое тесто, гипсовый камень, неравновесная низкотемпературная плазма (ННТП), плазмомодификация гипсовой суспензии, прочность, сроки схватывания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бруяко М.Г. Исследование влияния низкотемпературной плазмы на свойства высокомарочного гипса / Бруяко М.Г., Ергенян А.М., Швецова В.А., Якупова Ю.М. // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 1. – С. 59–67.

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

STUDY ON THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURE PLASMA ON THE PROPERTIES OF HIGH STRENGTH GYPSUM BINDER

Bruyako M.G.¹, Ergenyan A.M.¹, Shvetsova V.A.¹, Yakupova Yu.M.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSUCE)

ABSTRACT

One of the main vectors of development in modern construction is the acceleration of the pace of construction production. The use of chemical additives is not always justified from a technical and economic point of view. Processing raw materials in low-temperature non-equilibrium plasma is an environmentally safe, effective method that does not require complex modifications and re-adjustment of technological equipment. Modification of raw materials in NNTP leads to a reduction in setting time, accelerated hardening of inorganic binders, as well as an increase in the performance characteristics of materials and products. In this work the effect of low-temperature plasma on the properties of high quality gypsum is investigated. Gypsum suspensions with gypsum concentration of 3 and 5% were subjected to the treatment, which were introduced into gypsum with mixing water. It has been proven that the use of plasma-modified gypsum suspensions accelerates the setting of gypsum paste by up to 35.5% and increases the flexural strength of gypsum stone to 10.5%, and compression strength to 22%.

KEY WORDS: gypsum paste, gypsum stone, nonequilibrium low-temperature plasma (NLTP), plasma modification of gypsum suspension, strength, setting time

FOR CITATION: Bruyako M.G. Study on the influence of low-temperature plasma on the properties of high strength gypsum / Bruyako M.G., Ergenyan A.M., Shvetsova V.A., Yakupova Yu.M. // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. 31, No1. – Pp. 59–67.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует довольно много способов активации воды, водных растворов и дисперсных систем, где в качестве дисперсионной фазы выступает вода. Физическое модифицирование воды затворения, суспензий и растворов позволяет управлять процессом формирования структуры материалов на их основе, не требует значительных изменений технологического процесса приготовления и обеспечивает значительное снижение расхода вяжущих или улучшение характеристик готового изделия.

Вода или водные растворы могут быть активированы посредством механического, акустического, электрического, магнитного воздействия и т.д.

Активация воды затворения электрическим полем растворимых электродов позволяет исключить химические добавки и автоматизировать как процесс активации самой воды затворения, так и весь процесс приготовления бетонной смеси. Изучение воздействий электрического поля на воду затворения с последующим использованием ее для приготовления вяжущей системы показало, что оно ускоряет сроки схватывания и увеличивает прочность цементного камня [1-3]. Регулирование таких параметров электрообработки, как напряженность поля, плотность тока, продолжительность обработки, дает возможность управлять твердением и физико-механическими свойствами вяжущих материалов.

Применение ультразвуковых колебаний для интенсификации процессов структурообразования цементных систем является эффективным [4], однако, создание развитой кавитации в воде, тем более в цементном тесте или растворе требует колоссальных энергозатрат. Поэтому ведется поиск низкоэнергетических способов активации.

В области строительного материаловедения наиболее полно изучено влияние магнитной обработки на воду затворения. Магнитная обработка воды и водосодержащих систем предусматривает протекание их через одно или несколько магнитных полей. Вода, подвергнутая воздействию магнитного поля, изменяет свои свойства [5-8]. После воздействия на воду магнитного поля кластерная структура воды разрушается, за счет разрыва водородных связей омагниченная вода становится более химически активной, чем вода обычная. В ней увеличивается скорость химических реакций и кристаллизации растворенных веществ, интенсифицируются процессы адсорбции, улучшается коагуляция примесей и выпадение их в осадок. Однако, кластерная структура воды со временем восстанавливается, что обязывает использовать модифицированную воду непосредственно после обработки.

Обработка жидкости неравновесной низкотемпературной плазмой широко применяется для обеззараживания воды [9]. Метод заключается в создании электрического поля высокой напряженности и формировании разряда на границе водно-воздушной среды, что приводит к эффективным электронно-молекулярным столкновениям, сопровождающимся производством активных окислителей (пероксида водорода, атомарного кислорода, гидроксил-радикала, гидропероксид-радикала), которые диффундируют через границу раздела в воду, подлежащую обработке. Однако, данный метод можно использовать не только для обеззараживания воды. Через плазму могут быть пропущены водные растворы, суспензии или тонкодисперсные

INTRODUCTION

Currently, there are quite a few methods for activating water, aqueous solutions and dispersed systems, where water acts as the dispersion phase. Physical modification of mixing water, suspensions and solutions makes it possible to control the process of formation of the structure of materials based on them, does not require significant changes in the technological process of preparation and provides a significant reduction in the consumption of binders or an improvement in the characteristics of the finished product.

Water or aqueous solutions can be activated through mechanical, acoustic, electrical, magnetic influence, etc.

Activation of mixing water by the electric field of soluble electrodes makes it possible to eliminate chemical additives and automate both the activation process of the mixing water itself and the entire process of preparing the concrete mixture. A study of the effects of an electric field on mixing water with its subsequent use for preparing a binder system showed that it accelerates the setting time and increases the strength of cement stone [1-3]. Regulation of electrical processing parameters such as field strength, current density, and treatment duration makes it possible to control the hardening and physical and mechanical properties of cementitious materials.

The use of ultrasonic vibrations to intensify the processes of structure formation of cement systems is effective [4], however, the creation of developed cavitation in water, especially in cement paste or mortar, requires enormous energy consumption. Therefore, a search is underway for low-energy activation methods.

In the field of building materials science, the effect of magnetic treatment on mixing water has been most fully studied. Magnetic treatment of water and water-containing systems involves their flow through one or more magnetic fields. Water exposed to a magnetic field changes its properties [5-8]. After exposure to a magnetic field, the cluster structure of water is destroyed, and due to the breaking of hydrogen bonds, magnetized water becomes more chemically active than ordinary water. It increases the rate of chemical reactions and crystallization of dissolved substances, intensifies adsorption processes, improves the coagulation of impurities and their precipitation. However, the cluster structure of water is restored over time, which obliges the use of modified water immediately after treatment.

Treatment of liquids with nonequilibrium low-temperature plasma is widely used for water disinfection [9]. The method consists in creating a high-intensity electric field and forming a discharge at the boundary of the water-air medium, which leads to effective electron-molecular collisions, accompanied by the production of active oxidants (hydrogen peroxide, atomic oxygen, hydroxyl radical, hydroperoxide). radical) that diffuse across the interface into the water to be treated. However, this method can be used not only for water disinfection. Aqueous solutions, suspensions or finely dispersed dry components can be passed through plasma [1, 10-12]. Thanks to plasma treatment,

сухие компоненты [1, 10-12]. Благодаря плазменной обработке повышается реакционная способность других компонентов бетонной смеси (песка, микронаполнителей, волокон различной природы), что позволяет снизить затраты на производство строительных изделий [13-16].

Холодная плазма (нетепловая плазма) представляет собой частично ионизированный газ, получаемый путем приложения достаточной энергии (тепловых, электромагнитных или электрических полей, микроволновых и радиочастот) к нейтральному газу при низком или атмосферном давлении [17]. Приложенная энергия активно поглощается свободными электронами, присутствующими в газе, быстрее, чем ионами. Затем ускоренные электроны передают энергию более тяжелым молекулам газа посредством упругих и неупругих столкновений. В результате этих столкновений газ претерпевает несколько фазовых реакций — ионизацию, возбуждение и диссоциацию с образованием нескольких реакционноспособных форм (активных форм кислорода и активных форм азота), новых электронов, ионов и свободных радикалов [18]. По данным [18] температура электронов в холодной плазме относительно высока (1–10 эВ), а энергия поступательного движения тяжелых частиц (молекул, ионов) близка к комнатной температуре. Это потому, что электроны имеют более легкую массу, чем тяжелые частицы [19]. Таким образом, электроны достигают более высокой кинетической энергии (температуры) быстрее, чем тяжелые частицы. Поэтому холодная плазма характеризуется как находящаяся в нелокальном термодинамическом равновесии из-за разницы в температуре между электронами и тяжелыми частицами [20]. Благодаря воздействию на поверхность материала при достаточно низкой температуре, не приводящей к разрушению образца, низкотемпературная плазма является эффективным способом обработки материалов. Кроме того, данный метод является экологическим безопасным и безотходным способом модификации сырьевых компонентов и материалов.

Несмотря на положительные результаты, получаемые при плазмомодификации материалов в лабораторных условиях, метод пока не получил широкого применения в промышленности. Причинами этого, возможно, является периодичность действия плазмотрона, а также дороговизна и сложность необходимого оборудования для создания разряда. Однако, холодная плазма требует гораздо меньшей потребляемой мощности, в отличие от термической плазмы, которой требуется более высокая потребляемая мощность (~ 50 МВт). Термическая плазма генерируется при высоких температурах (4000–20000 К) и давлениях (≥ 105 Па) [17]. Термическая плазма является полностью ионизированным газом, все частицы которого имеют одинаковую температуру. Чрезвычайно высокие температуры не подходят для обработки термочувствительных материалов, поэтому холодная плазма является более подходящим методом для модификации пищевых продуктов и материалов текстильной промышленности, а также воды, водных растворов и суспензий [21-27].

Цель или задачи исследования:

Целью исследования является установления влияния низкотемпературной плазмы на свойства высококачественного гипса.

Задачи исследования: установить зависимости сроков схватывания гипсового теста и прочности гипсового камня

the reactivity of other components of the concrete mixture (sand, microfillers, fibers of various natures) increases, which makes it possible to reduce the cost of production of construction products [13-16].

Cold plasma (non-thermal plasma) is a partially ionized gas produced by applying sufficient energy (thermal, electromagnetic, or electric fields, microwave and radio frequencies) to a neutral gas at low or atmospheric pressure [17]. The applied energy is actively absorbed by free electrons present in the gas faster than by ions. The accelerated electrons then transfer energy to heavier gas molecules through elastic and inelastic collisions. As a result of these collisions, the gas undergoes several phase reactions - ionization, excitation and dissociation with the formation of several reactive forms (reactive oxygen species and reactive nitrogen species), new electrons, ions and free radicals [18]. According to [18], the temperature of electrons in cold plasma is relatively high (1–10 eV), and the energy of translational motion of heavy particles (molecules, ions) is close to room temperature. This is because electrons have lighter mass than heavy particles [19]. Thus, electrons reach higher kinetic energy (temperature) faster than heavy particles. Therefore, cold plasma is characterized as being in non-local thermodynamic equilibrium due to the difference in temperature between electrons and heavy particles [20]. Due to the effect on the surface of the material at a sufficiently low temperature, which does not lead to destruction of the sample, low-temperature plasma is an effective method for processing materials. In addition, this method is an environmentally safe and waste-free way to modify raw materials and components.

Despite the positive results obtained by plasma modification of materials in laboratory conditions, the method has not yet been widely used in industry. The reasons for this may be the frequency of operation of the plasma torch, as well as the high cost and complexity of the necessary equipment to create the discharge. However, cold plasma requires much less power input, unlike thermal plasma, which requires a higher power input (~50 MW). Thermal plasma is generated at high temperatures (4000–20000 K) and pressures (≥ 105 Pa) [17]. Thermal plasma is a fully ionized gas, all particles of which have the same temperature. Extremely high temperatures are not suitable for processing heat-sensitive materials, so cold plasma is a more suitable method for modifying food and textile materials, as well as water, aqueous solutions and suspensions [21-27].

Aim or objectives of the study:

The aim of the study is to determine the effect of low-temperature plasma on the properties of high-quality gypsum.

Objectives of the study: to establish the dependence of gypsum dough setting time and strength of gypsum stone in bending and compression on the concentration of gypsum suspension treated in low-temperature plasma for 5 sec.

при изгибе и сжатии от концентрации гипсовой суспензии, обработанной в низкотемпературной плазме в течение 5 сек.

Материалы и методы исследования

Для проведения экспериментальных работ были использованы следующие материалы: гипсовое вяжущее и вода водопроводная.

Гипсовое вяжущее марки Г-10 от производителя Samara Gips, физико-механические характеристики гипсового вяжущего представлены в таблице 1. По результатам проведенных испытаний гипсовое вяжущее соответствует марке Г-10 Б II ГОСТ 125-2018.

ТАБЛИЦА 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО
Table 1. Characteristics of gypsum binder

Вяжущее Type of binder	Остаток на сите 02, % The percentage of material retained in the 0,2 mm sieve	Нормальная густота, % Normal consistency, %	Начало схватывания, мин Initial setting time, min	Конец схватывания, мин Final setting time, min	Предел прочности при сжатии 2 ч., МПа Compressive strength after 2 hours, MPa	Предел прочности при изгибе 2 ч., МПа Flexural strength after 2 hours, MPa
Гипсовое вяжущее Г-10 Gypsum binder	7,4	38	11	21,5	10,1	5,0

Методология исследования заключалась в следующем:

- 1) Приготовить гипсовые суспензии с концентрацией 3 и 5 % гипсового вяжущего и обработать их в потоке неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП);
- 2) Приготовить гипсовое тесто с использованием гипсовых суспензий в качестве воды затворения;
- 3) Определить сроки схватывания гипсового теста с различными концентрациями гипсовых суспензий;
- 4) Изготовить образцы-балочки из гипсового теста, определить для них прочность при изгибе и сжатии;
- 5) Проанализировать полученные результаты.

В рамках эксперимента изготавливались гипсовые суспензии с концентрацией гипса 3 и 5%. Суспензии была разделена на две части. Первая часть была обработана неравновесной низкотемпературной плазмой, вторая часть осталась нетронутой. Сроки схватывания гипсового теста определялись в соответствии с ГОСТ 23789-2018. Из гипсового теста были изготовлены образцы-балочки 4×4×16 см, которые были испытаны на изгиб и сжатие в соответствии с ГОСТ 23789-2018.

Изменение характеристик сетевого переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц осуществлялось источником питания до значения переменного тока напряжением 8000 В и частотой 3 кГц, который подавался на электроды для генерирования низкотемпературной неравновесной плазмы, со значением параметра E/N равного 15·10-16 В/см² в межэлектродном пространстве. Время обработки суспензий составляло 5 секунд.

Materials and methods of research

The following materials were used for experimental work: gypsum binder and tap water.

Gypsum binder of G-10 grade from the manufacturer Samara Gips, physical and mechanical characteristics of gypsum binder are presented in Table 1. According to the results of the tests, gypsum binder corresponds to G-10 grade B II GOST 125-2018.

The methodology of the study was as follows:

- 1) Prepare gypsum suspensions with a concentration of 3% and 5% gypsum binder and treat them in a non-equilibrium low temperature plasma (NNTP) flow;
- 2) Prepare gypsum dough using gypsum suspensions as mixing water;
- 3) Determine the setting times of gypsum dough with different concentrations of gypsum suspensions;
- 4) To make specimen beams from gypsum dough, to determine their bending and compressive strength;
- 5) Analyze the obtained results.

As part of the experiment, gypsum suspensions were produced with a gypsum concentration of 0, 3, 5%. The suspension was divided into two parts. The first part was treated with nonequilibrium low-temperature plasma, the second part remained untouched. The setting time of the gypsum test was determined in accordance with GOST 23789-2018 (GOST 23789-2018. Gypsum binder. Test methods) (In Russian). Beam samples 4x4x16 cm were made from gypsum dough, which were tested for bending and compression in accordance with GOST 23789-2018.

Changing the characteristics of the mains alternating current with a voltage of 220 V and a frequency of 50 Hz was carried out by a power source to an alternating current of 8000 V and a frequency of 3 kHz, which was supplied to the electrodes to generate low-temperature nonequilibrium plasma, with a parameter E/N equal to 15 10-16 V/cm² in the interelectrode space. The suspension processing time was 5 seconds.

РИСУНОК 1

УСТАНОВКА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ:

- 1 – плазмохимический реактор конструкции МФТИ,
- 2 – блок питания с частотой 30 кГц,
- 3 – материалоприемник,
- 4 – система ввода материала,
- 5 – поршневой компрессор AVX-3040 (до 8 атм),
- 6 – полимерный трубопровод,
- 7 – схема подключения анода и катода.

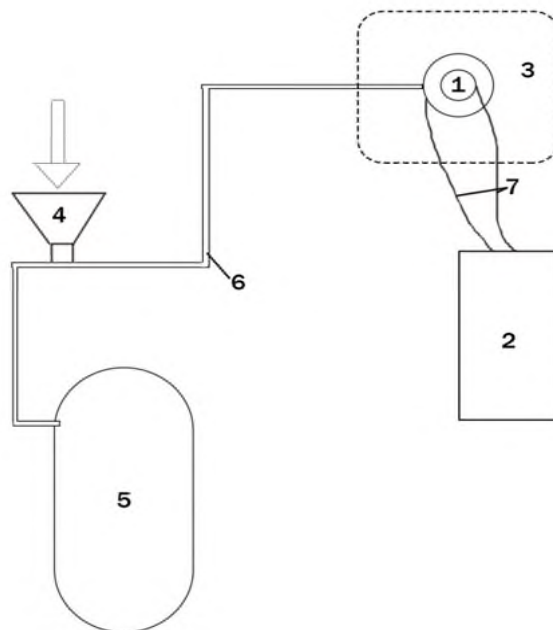


Figure 1

Plasmachemical processing installation:

- 1 – plasma-chemical reactor designed by MIPT,
- 2 – power supply with a frequency of 30 kHz,
- 3 – material receiver,
- 4 – material input system,
- 5 – piston compressor AVX-3040 (up to 8 atm),
- 6 – polymer pipeline,
- 7 – connection diagram of the anode and cathode.

Эксперименты и обсуждение результатов

Водогипсовое соотношение было принято равным 0,61. Суспензия пропусклась через плазматрон 1 раз, после чего сразу готовилось гипсовое тесто и определялись сроки его схватывания. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Для ускорения схватывания гипсового теста оптимальной концентрацией суспензии является 2,5% и более. При концентрации суспензии 5% начало схватывания наступает на 35,5% раньше, конец схватывания - на 39,4% раньше, чем при использовании необработанной суспензии той же концентрации.

Experiments and discussion

The water-gypsum ratio was taken to be 0.61. The suspension was passed through the plasmatron 1 time, after which gypsum dough was immediately prepared and its setting time was determined. The obtained results are presented in Fig. 1.

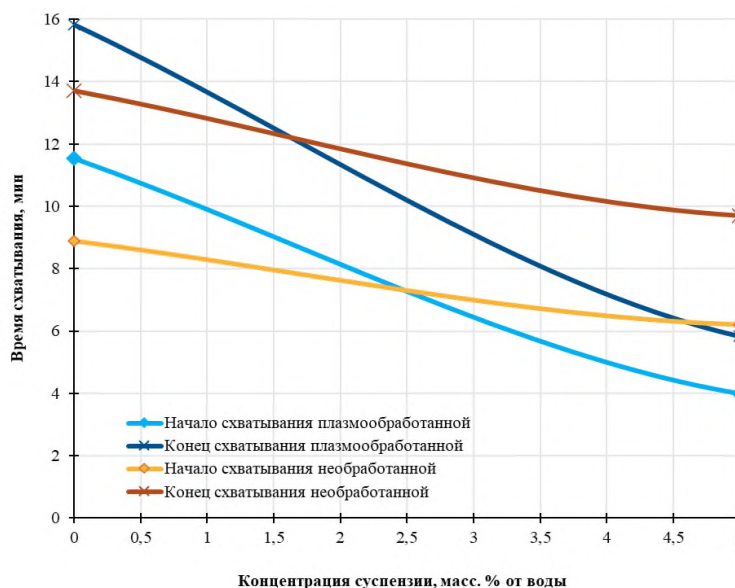
To speed up the setting of gypsum dough, the optimal concentration of the suspension is 2.5% or more. With a suspension concentration of 5%, the beginning of setting occurs 35.5% earlier, the end of setting - 39.4% earlier than when using an untreated suspension of the same concentration.

РИСУНОК 2

ЗАВИСИМОСТЬ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ГИПСОВОЙ СУСПЕНЗИИ

Figure 2

Dependence of gypsum dough setting time on gypsum suspension concentration



Для части образцов была определена прочность на сжатие и при изгибе в возрасте 2 часов. Оставшиеся образцы были постепенно высушены в условиях лаборатории до того момента, когда потери по массе между двумя последовательными взвешиваниями не составили 0,1%.

For some of the samples, the compressive and bending strength was determined at the age of 2 hours. The remaining samples were gradually dried in laboratory conditions until the weight loss between two successive weighings was

Промежуточные результаты были получены для образцов с влажностью 6,7 и 16,7 % (рис.3)

Прочность при изгибе увеличивается незначительно. При введении 3%-ной суспензии прочность в высушенном состоянии увеличилась на 7%, при введении 5%-ной суспензии – на 10,5%.

Intermediate results were obtained for samples with moisture content of 6.7 and 16.7% (Figure 3).

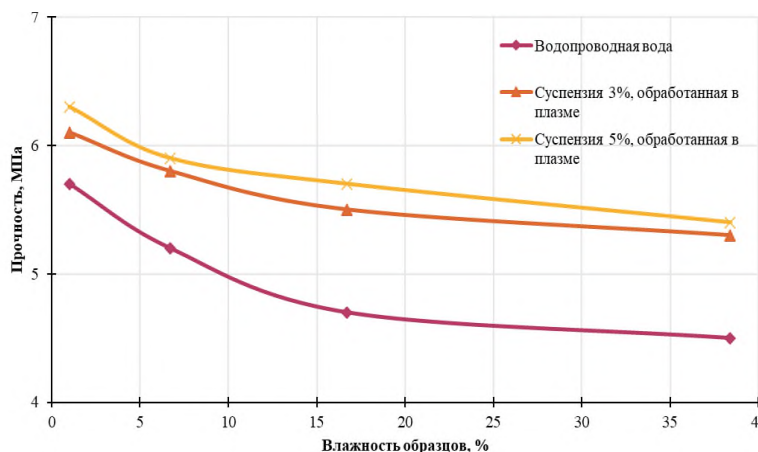
The bending strength increases slightly. With the introduction of a 3% suspension, the strength in the dried state increased by 7%, with the introduction of a 5% suspension - by 10.5%.

РИСУНОК 3

ПРОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ ГИПСОВЫХ ОБРАЗЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ ОБРАЗЦОВ

Figure 3

Flexural strength of gypsum specimens depending on specimen moisture content



Прирост прочности при сжатии через 2 часа твердения при введении обработанной 3-х % суспензии составил 24,1%, после полного высушивания – 17,2%. Введение 5-ти % суспензии позволило увеличить прочность через 2 часа твердения на 22%, после полного высушивания – на 18% (рис.4).

Достигнутые эффекты обуславливаются уплотнением кристаллического каркаса в результате появления тонкодисперсных центров кристаллизации. Центрами кристаллизации в данном случае выступают карбонаты кальция и магния которые образуются при переходе растворимых гидрокарбонатов кальция и магния при обработке ННТП водных гипсовых суспензий. Обработка ННТП приводит к повышению температуры суспензии, что обуславливает ускорение протекания химических реакций гидратации.

The increase in compressive strength after 2 hours of hardening with the introduction of a 3% treated suspension was 24.1%, after complete drying - 17.2%. The introduction of a 5% suspension made it possible to increase the strength after 2 hours of hardening by another 22%, and after complete drying – by 18% (Figure 4).

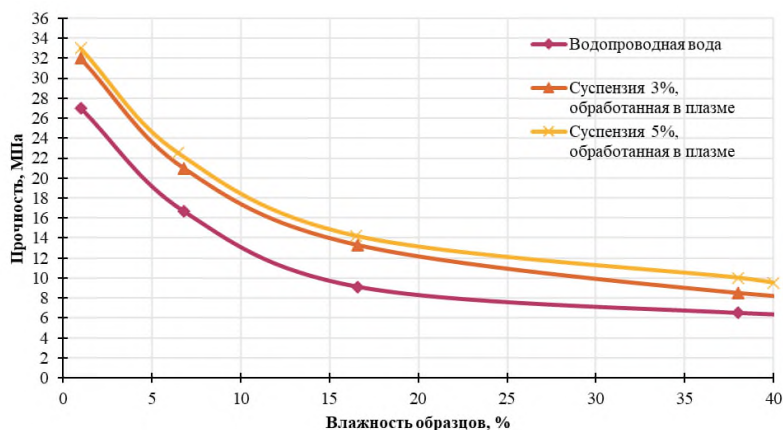
The achieved effects are due to the compaction of the crystalline framework as a result of the appearance of finely dispersed crystallization centers. Crystallization centers in this case are calcium and magnesium carbonates, which are formed by the transition of soluble calcium and magnesium hydrocarbonates during the processing of NNTP aqueous gypsum suspensions. Treatment with NNTP leads to an increase in the temperature of suspension, which causes the acceleration of chemical reactions of hydration.

РИСУНОК 4

ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ ГИПСОВЫХ ОБРАЗЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ ОБРАЗЦОВ

Figure 4

Compressive strength of gypsum samples as a function of sample moisture content



Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что обработка гипсовой суспензии является эффективным методом ускорения набора прочности при твердении гипса.

Conclusions

Based on the results of this research, it can be concluded that gypsum slurry treatment is an effective method to accelerate the strength gain during gypsum solidification.

Введение гипсовых суспензий обработанных ННТР приводит к увеличению прочности как в первые часы твердения, так и в более длительные промежутки времени.

При введении в состав воды затворения плазмомодифицированной 5%-ной гипсовой суспензии начало схватывания наступает на 35,5% раньше, конец схватывания – на 39,4%, прочность при изгибе увеличивается на 10,5%, прочность при сжатии – на 22%.

Достигнутые эффекты объясняются уплотнением кристаллического каркаса в результате появления тонкодисперсных центров кристаллизации, в качестве которых выступают карбонаты кальция и магния.

Литература:

1. Пат. 187713 Российская Федерация, МПК H05H 1/24 (2006.01). Плазмохимический генератор для активации водных дисперсных суспензий и сухих дисперсных материалов / Бруяко М.Г., Беликов С.С., Матюшин Е.В.; заявитель и патентообладатель НИУ МГСУ - № 2018139191; заявл. 07.11.2018; опубл.15.03.2019, Бюл. №8.
2. Фолимагина О.В. Разработка строительных материалов на основе магнитомеханически активированной водогипсовой суспензии: дисс.канд. техн. наук: 05.23.05: защищена 23.12.2011/ Фолимагина Ольга Васильевна. - Пенза, 2011. – 164 с. – Библиогр.: с.147-162. – 04201252006.
3. Карасёва Я. А. Повышение эффективности цементных дисперсных систем водой в метастабильном состоянии: дисс.канд. техн. наук: 05.03.05: защищена 17.12.2008/ Карасева Яна Анатольевна. - Пенза, 2008. – 154 с.
4. Козлова И.В. Опыт применения наноразмерных частиц в производстве строительных материалов // Техника и технология силикатов. 2021. Т. 28. №3. С. 81 – 87.
5. Классен В.И. Омagnичивание водных систем. - М.: Химия, 1982. 296 с.
6. Горленко Н.П. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем: монография / Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов. – Томск: Изд-во Том. гос. архит. строит. ун-та, 2011. – 264 с.
7. Соболев С. В. Фрактальные параметры водных объектов [Текст]: монография / С. В. Соболев; Нижегород. гос. архитектур. - стро-ит.ун - т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. – 232 с. ISBN 978-5-528-00344-3.
8. Саркисов Ю.С. Особенности структуры и свойств воды в жидком агрегатном состоянии / Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Зубкова О.А., Саркисов Д.Ю. Техника и технология силикатов. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 12-17.
9. Колесников В.А., Якушин Р.В., Бродский В.А., Бабусенко Е.С., Чистолитов А.В. Исследование инактивации болезнетворных микроорганизмов в воде воздействием низкотемпературной плазмы // Гигиена и санитария. - 2016. - Т. 95, №6. - С. 588-592.
10. Пшеничный Г.Н. Этюды отвердевания строительного гипса Техника и технология силикатов. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 2-6.
11. Коровяков В.Ф. Современные достижения в области создания гипсовых вяжущих // Сборник научных трудов (к 50-летию института). М.: ГУП «НИИМОССТРОЙ». – 2006. - 149 с.
12. Калядин А.Ю., Налбандян Г.В., Соловьев В.Г., Богданова А.А., Ушков В.А. Плазменная модификация компонентов строительных растворов - эффективный метод повышения их эксплуатационных свойств // Вестник МГСУ. - 2019. - Т. 14, № 5. - С.548-558.

The introduction of gypsum suspensions treated with NNTP leads to an increase in strength both in the first hours of curing and in longer periods of time.

When plasmamodified 5% gypsum suspension is introduced into the composition of mixing water, the beginning of setting occurs 35.5% earlier, the end of setting - by 39.4%, flexural strength increases by 10.5%, compressive strength - by 22%.

The achieved effects are explained by the compaction of the crystalline framework as a result of the appearance of finely dispersed crystallization centers, which are calcium and magnesium carbonates.

References:

1. Pat. 187713 Rossijskaya Federaciya, MPK H05H 1/24 (2006.01). Plazmoximicheskij generator dlya aktivacii vodny`x dispersny`x suspenzij i suxix dispersny`x materialov / Bruyako M.G., Belikov S.S., Matyushin E.V.; zayavitel' i patentoobladatel' NIU MGSU - № 2018139191; zayavl. 07.11.2018; opubl.15.03.2019, Byul. №8. (in Russian)
2. Folimagina O.V. Razrabotka stroitel'ny`x materialov na osnove magnitomexanicheski aktivirovannoj vodogipsovoj suspenzii: diss. kand. texn. nauk: 05.23.05: zashhishhena 23.12.2011/ Folimagina Ol'ga Vasilevna. - Penza, 2011. – 164 s. – Bibliogr.: s.147-162. – 04201252006. (in Russian)
3. Karasyova Ya. A. Povy`shenie e`ffektivnosti cementny`x dispersny`x sistem vodoj v metastabil'nom sostoyanii: diss. kand. texn. nauk: 05.03.05: zashhishhena 17.12.2008/ Karaseva Yana Anatolevna. - Penza, 2008. – 154 s. (in Russian)
4. Kozlova I.V. Experience of applying of nanosized particles in production of building materials // Technique and technology of silicates. 2021. Vol. 28. No3. Pp 81 – 87 (rus)
5. Klassen V.I. Omagnichivanie vodny`x sistem. - M.: Ximiya, 1982. 296 s. (in Russian)
6. Gorlenko N.P. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh sistem: monografiya / N.P. Gorlenko, YU.S. Sarkisov. – Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arkh. stroit. un-ta, 2011. – 264 s.
7. Sobol' S. V. Fraktal'nyye parametry vodnykh ob'yektov [Tekst]: monografiya / S. V. Sobol'; Nizhegor. gos. arkhitektur. - stroit. un - t. – N. Novgorod: NNGASU, 2019. – 232 s. ISBN 978-5-528-00344-3.
8. Sarkisov Yu.S. Particular qualities of the structure and properties of water in a liquid aggregate state / Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Zubkova O.A., Sarkisov D.Yu. // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. 31, No1. – Pp. 12-17.
9. Kolesnikov V.A., Yakushin R.V., Brodskij V.A., Babusenko E.S., Chistolinov A.V. Issledovanie inaktivacii boleznetvorny`x mikroorganizmov v vode vozdejstviem nizkotemperaturnoj plazmy` // Gigiena i sanitariya. - 2016. - T. 95, №6. - S. 588-592. (in Russian)
10. Pshenichny G.N. Studies of hardening of construction gypsum // Technique and technology of silicates. – 2021. Vol. 28, No1. – Pp. 2-6.
11. Korovyakov V.F. Sovremenny`e dostizheniya v oblasti sozdaniya gipsovy`x vyazhushhix // Sbornik nauchny`x trudov (k 50-letiyu instituta). M.: GUP «NIIMOSSTROJ». – 2006. - 149 s. (in Russian)
12. Kalyadin A.Yu., Nalbandyan G.V., Solov`ev V.G., Bogdanova A.A., Ushkov V.A. Plazmennaya modifikaciya komponentov stroitel'ny`x rastvorov - e`ffektivny`j metod povy`sheniya ix e`kspluatacionny`x svojstv // Vestnik MGSU. - 2019. - T. 14, № 5. - S.548-558. (in Russian)

13. Бруяко М.Г., Шувалова Е.А., Золотарев М.Е., Ханмамедова Э.Н. Влияние плазмомодифицированной фибры на свойства строительных композитов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2019. - Т. 9, № 4. - С. 716-725.
14. Ibragimov R.A., Korolev E.V. Technical properties of activated gypsum / International Conference on Construction, Architecture and Techno-sphere Safety (ICCATS 2018), Russian Federation (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering). - 26–28 September 2018. - South Ural State University, 2018. Volume 451, DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012028.
15. Sazonova N.A., Skripnikova N.K. Using the low-temperature plasma in cement production / 12th International Conference on Gas Discharge Plasmas and Their Applications. Journal of Physics: Conference Series. - 2015. - V.652. DOI:10.1088/1742-6596/652/1/012063.
16. Nalbandyan G.V., Soloviev V.G., Ushkov V.A. Modification of components of fine-grained concretes by low-temperature nonequilibrium plasma / Materials Today: Proceedings. - 2019. V.19, № 5. P. 1841-1844. DOI:10.1016/j.matpr.2019.07.024.
17. Moreau M., Orange N., Feuilloley M.G.J. Non-thermal plasma technologies: new tools for bio-decontamination. Biotechnol. Adv. - 2008. V. 26. P. 610–617. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.08.001.
18. Milella A., Palumbo F. Cold plasma / Encyclopedia of Membranes. Drioli E., Giorno L., editors. Springer Berlin Heidelberg. - Berlin, Heidelberg, 2014. pp. 1–2.
19. Rossi F. Sterilization and decontamination of surfaces by plasma discharges / Sterilisation of Biomaterials and Medical Devices. Simmons A., editor. - 2012.
20. Snoeckx R., Bogaerts A. Plasma technology – a novel solution for CO₂ conversion? / Chemical Society Review – 2017. – V. 46. P. 5805–5863. DOI: 10.1039/C6CS00066E.
21. Liao X., Cullen P.J., Muhammad A.I., Jiang Z., Ye X., Liu D., Ding T. Cold plasma-based hurdle interventions: new strategies for improving food safety/ Food Engineering Reviews – 2020. – V.12. – P. 321–332. DOI: 10.1007/s12393-020-09222-3.
22. Adhikari B., Adhikari M., Ghimire B., Park G., Choi E.H. Cold atmospheric plasma-activated water irrigation induces defense hormone and gene expression in tomato seedlings / Science Reports. – 2019. - V.9. DOI: 10.1038/s41598-019-52646-z.
23. Thirumdas R., Kothakota A., Annapure U., Siliveru K., Blundell R., Gatt R., Valdramidis V.P. Plasma-activated water (PAW): chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture / Trends in Food Science and Technology. – 2018. – V. 77. – P. 21–31. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.05.007.
24. Применение тлеющего разряда в строительной и текстильной промышленности / С.В. Федосов, Б.Н. Мельников, М.В. Акулова, Л.В. Шарнина. Иваново: ИГХТУ, ИГАСУ, 2008. - 236 с.
25. Абдуллин И.Ш., Нуруллина Г.Н., Азанова А.А. Плазменная модификация природных полимеров как фактор повышения экономической эффективности отделочного производства / Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - С. 167-168.
26. Азанова А.А., Абдуллин И.Ш., Нуруллина Г.Н., Дресвянников А.Ф. Трикотажные полотна, отделанные с использованием низкотемпературной плазмы производства / Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - С. 61-62.
13. Bruyako M.G., Shuvalova E.A., Zolotarev M.E., Xanmamedova E.N. Vliyanie plazmomodificirovannoy fibry na svoystva stroitel'ny'x kompozitov // Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. - 2019. - T. 9, № 4. - S. 716-725. (in Russian)
14. Ibragimov R.A., Korolev E.V. Technical properties of activated gypsum / International Conference on Construction, Architecture and Techno-sphere Safety (ICCATS 2018), Russian Federation (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering). - 26–28 September 2018. - South Ural State University, 2018. Volume 451, DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012028.
15. Sazonova N.A., Skripnikova N.K. Using the low-temperature plasma in cement production / 12th International Conference on Gas Discharge Plasmas and Their Applications. Journal of Physics: Conference Series. - 2015. - V.652. DOI:10.1088/1742-6596/652/1/012063.
16. Nalbandyan G.V., Soloviev V.G., Ushkov V.A. Modification of components of fine-grained concretes by low-temperature nonequilibrium plasma / Materials Today: Proceedings. - 2019. V.19, № 5. P. 1841-1844. DOI:10.1016/j.matpr.2019.07.024.
17. Moreau M., Orange N., Feuilloley M.G.J. Non-thermal plasma technologies: new tools for bio-decontamination. Biotechnol. Adv. - 2008. V. 26. P. 610–617. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.08.001.
18. Milella A., Palumbo F. Cold plasma / Encyclopedia of Membranes. Drioli E., Giorno L., editors. Springer Berlin Heidelberg. - Berlin, Heidelberg, 2014. pp. 1–2.
19. Rossi F. Sterilization and decontamination of surfaces by plasma discharges / Sterilisation of Biomaterials and Medical Devices. Simmons A., editor. - 2012.
20. Snoeckx R., Bogaerts A. Plasma technology – a novel solution for CO₂ conversion? / Chemical Society Review – 2017. – V. 46. P. 5805–5863. DOI: 10.1039/C6CS00066E.
21. Liao X., Cullen P.J., Muhammad A.I., Jiang Z., Ye X., Liu D., Ding T. Cold plasma-based hurdle interventions: new strategies for improving food safety/ Food Engineering Reviews – 2020. – V.12. – P. 321–332. DOI: 10.1007/s12393-020-09222-3.
22. Adhikari B., Adhikari M., Ghimire B., Park G., Choi E.H. Cold atmospheric plasma-activated water irrigation induces defense hormone and gene expression in tomato seedlings / Science Reports. – 2019. - V.9. DOI: 10.1038/s41598-019-52646-z.
23. Thirumdas R., Kothakota A., Annapure U., Siliveru K., Blundell R., Gatt R., Valdramidis V.P. Plasma-activated water (PAW): chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture / Trends in Food Science and Technology. – 2018. – V. 77. – P. 21–31. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.05.007.
24. Application of glow discharge in construction and textile industry / S.V. Fedosov, B.N. Melnikov, M.V. Akulova, L.V. Sharnina. Ivanovo: IGHTU, IGASU, 2008. - 236 с.
25. Abdullin, I.S.; Nurullina, G.N.; Azanova, A.A. Plasma modification of natural polymers as a factor of increasing the economic efficiency of finishing production / Bulletin of Kazan Technological University. - 2014. - C. 167-168.
26. Azanova A.A., Abdullin I.Sh., Nurullina G.N., Dresvyanikov A.F. Knitted fabrics finished using low-temperature plasma production / Bulletin of Kazan Technological University. - 2014. - C. 61-62.
27. Serdobintsev, A.A.; Venig, S.B.; Alexandrov, V.A.; Mitin, D.M.; Veselov, A.G.; Kiryasova, O.A.; Elmanov, V.I. Formation of modified materials in low-temperature plasma

27. Сердобинцев А.А., Вениг С.Б., Александров В.А., Митин Д.М., Веселов А.Г., Кирясова О.А., Елманов В.И. Формирование модифицированных материалов в потоках низкотемпературной плазмы / Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. - 2013. - Т. 13, № 2. - С. 47-50.

flows / Izvestia Saratov University. New series. Series Physics. - 2013. - Т. 13, № 2. - С. 47-50.

Работа выполнена в НИУ МГСУ в рамках реализации Программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030». Проект 3.1 «Научный прорыв в строительной отрасли – новые технологии, новые материалы, новые методы».

Бруйко Михаил Герасимович – доцент кафедры СМ, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ, E-mail: mbruyako@yandex.ru

Ергенян Артур Меружанович – соискатель кафедры СМ, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ, E-mail: adan-89@mail.ru

Швецова Виктория Андреевна – преподаватель кафедры СМ, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ, E-mail: wishhuma@mail.ru (автор для связи)

Якупова Юлия Маратовна – бакалавр кафедры СМ, ФГБОУ ВО НИУ МГСУ, E-mail: ju.yakupova@yandex.ru

Вклад авторов: Бруйко М.Г. - идея, научное руководство, научное редактирование статьи; Ергенян А.М. – выполнение экспериментов, разработка методик, обработка материала, написание статьи; Швецова В.А. – разработка методик, обработка материала, написание статьи; Якупова Ю.М. – выполнение экспериментов, обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Bruyako Mikhail Gerasimovich – associate professor of Department of Construction Materials Sciences, Ph.D. in Eng. Sc., NRU MSUCE, E-mail: mbruyako@yandex.ru

Ergenyan Arthur Meruzhanovich – PhD applicant of Department of Construction Materials Sciences, NRU MSUCE, E-mail: adan-89@mail.ru

Shvetsova Victoria Andreevna – department lecturer of Department of Construction Materials Sciences, NRU MSUCE, E-mail: wishhuma@mail.ru (author for contact)

Yakupova Yulia Maratovna – bachelor of Department of Construction Materials Sciences, NRU MSUCE, E-mail: ju.yakupova@yandex.ru

Contribution of the author: Bruyako M.G. – idea, scientific guidance, scientific editing of the article; Ergenyan A.M. – experimental performance, development of methods, processing of material, writing of the article; Shvetsova V.A. – development of methods, material processing, article writing; Yakupova Yu.M. – experimental performance, processing of material, writing the article.

The authors declare that they have no conflict of interest.