

Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Узлов К.І., Карпова Т.П.

Характер механічного руйнування піщано-рідкоскляних сумішей, що структуровані у паро-мікрохвильовому середовищі

Solonenko L.I., Repiakh S.I., Uzlov K.I., Karpova T.P.

Mechanical destruction character of sand-sodium-silicate mixtures structured in steam-microwave environment**Мета.** Дослідити характер та розробити опис зміни характеру механічного руйнування піщано-рідкоскляних сумішей від часу їх структурування у паро-мікрохвильовому середовищі.**Методика.** Міцність на розтяг структурованих сумішей визначали на приладі мод. LRu-2e відповідно до ГОСТ 23409.7. Структуру поверхонь руйнування піщано-рідкоскляних сумішей досліджували на растровому електронному мікроскопі мод. REM-106I при прискорювальній напрузі від 20 до 30 кВ і силі струму зонда від 4 μ A до 30 μ A у вторинних електронах з діаметром зонда від 1000 до 200 нм.

Розробку опису механізму руйнування піщано-рідкоскляних сумішей виконано за результатами аналізу, зіставлення, виключення та узагальнення відомих та отриманих авторами даної роботи експериментальних та теоретичних досліджень, опублікованих у відкритих наукових джерелах з аналізованої тематики.

Результати. Не залежно від вмісту рідкого скла в структурованій піщано-рідкоскляній суміші характер її руйнування залежить від часу паро-мікрохвильової обробки, який зі збільшенням часу обробки змінюється від адгезійного до змішаного і когезійного. Відповідно до розробленого опису механізму руйнування перехід від адгезійного до когезійного механізму руйнування викликано характером ходи залежності підвищення в часі як адгезійної міцності в системі кварц-рідке скло, так і когезійної міцності рідкого скла в манжетах суміші. При цьому зміна когезійної міцності рідкого скла у часі при мікрохвильовій обробці має екстремальний характер і, вочевидь, зумовлена ступенем полімеризації силікату натрію з рідкого скла під час його дегідратації.**Наукова новизна.** Вперше розроблено опис зміни характеру механічного руйнування піщано-рідкоскляних сумішей від часу їх структурування у паро-мікрохвильовому середовищі.**Практична значимість.** Отримані дані дозволять розширити уявлення про властивості піщано-рідкоскляних форм та механізм їх руйнування під механічним впливом, оцінити можливості способу структурування в паро-мікрохвильовому середовищі, цілеспрямовано вибрати напрями досліджень та практичних дій в частині керування рівнем властивостей структурованих піщано-рідкоскляних сумішей.**Ключові слова:** піщано-рідкоскляна суміш, манжета, піщинка, рідке скло, структурування, руйнування, адгезія, когезія, міцність**Purpose.** There were nature investigation and description development of sand-sodium-silicate mixtures mechanical destruction nature changing according to the time of their structuring in steam-microwave environment.**Methodology.** Structured mixtures tensile strength has been determined on LRu-2e model device in accordance with ГОСТ 23409.7. Sand-sodium-silicate mixtures fracture surfaces structure has been studied using scanning electron microscope SEM-106I model at accelerating voltage of 20 to 30kV and probe current of 4 μ A to 30 μ A in secondary electrons with probe diameter of 1000 to 200nm.

Sand-sodium-silicate mixtures destruction mechanism description development has been carried out based on analysis results, comparison, exclusion and generalization of known and obtained by the authors of this work experimental results and theoretical data, published in open scientific sources devoted to present analysis subject.

Findings. Regardless of sodium silicate solute content in structured sand-sodium-silicate mixture, its destruction nature depends on steam-microwave treatment time, which changes from adhesive to combined and cohesive with treatment time increasing. According to fracture mechanism description developed, transition from adhesive to cohesive fracture mechanism is caused by the time dependence character of both adhesive strength in quartz-sodium-silicate-solute system and cohesive strength in sodium silicate solute in mixture cuffs increasing. At the same time, sodium silicate solute cohesive strength changing over time during microwave treatment is of an extreme nature and, obviously, caused by sodium silicate from sodium silicate solute polymerization degree during its dehydration.**Originality.** For the first time, description of sand-sodium-silicate mixtures mechanical destruction changing nature devoted to their structuring in steam-microwave environment time has been developed.**Practical value.** Data obtained make it possible to expand the understanding about sand-sodium-silicate molds properties and their destruction mechanism under mechanical influence, to evaluate the method of structuring in steam-microwave environment possibilities, to purposefully choose research directions and practical actions in terms of structured sand-sodium-silicate mixtures properties level regulation.**Keywords:** sand-sodium-silicate mixture, cuff, sand grain, sodium silicate solute, structuring, destruction, adhesion, cohesion, strength

Стан питання. Механізми структурування сумішей з різними за природою сполучними матеріалами відмінні один від одного. Зокрема, глини в піщано-глинистих сумішах тверднуть за коагуляційним механізмом, твердіння розчинів гіпсу та цементу у

воді відбувається в результаті їх гідратації та утворення нових кристалогідратів певної форми [1...3], фосфатні сполучні (маталофосфати) тверднуть за коагуляційно-поліконденсаційним механізмом [4], термореактивні смоли – за поліконденсаційним ме-

Солоненко Людмила Ігорівна – к.т.н., УДУНТ
Реп'ях Сергій Іванович – д.т.н., УДУНТ
Узлов Костянтин Іванович – д.т.н., УДУНТ
Карпова Тетяна Петрівна - УДУНТ

Solonenko L. – c.t.s., USUST
Repiakh S. – d.t.s., USUST
Uzlov K. – d.t.s., USUST
Karpova T. - USUST

ханізмом [5, 6] і т.д. На відміну від інших сполучних матеріалів, рідке скло може твердіти за механізмом поліконденсації з виникненням в ньому нових твердих в'язучих хімічних сполук [2, 7, 8] або за коагуляційним механізмом при дегідратації [2, 9, 10], або за рахунок зменшення його водневого показника, або підвищення силікатного модуля тощо.

Незважаючи на значне розмаїття механізмів твердіння сполучних матеріалів у сумішах загальними для всіх сполучних є механізми їх руйнування під дією зовнішнього навантаження, що додається до них. Зокрема, при механічному впливі на структуровану піщану суміш виділяють наступні типи руйнування її сполучень:

адгезійний – руйнування проходить виключно за рахунок відшарування адгезиву від субстрату по поверхням їх контакту;

когезійний – руйнування проходить або по адгезиву, або по субстрату;

змішаний (адгезійно-когезійний або когезійно-адгезійний) – руйнування системи проходить одночасно як з відшаруванням адгезиву від субстрату, так і руйнуванням матеріалу адгезиву і/або субстрату.

У наявний час тип руйнування адгезійних сполучень якими, зокрема, є структуровані піщано-рідкоскляні суміші (ПРС), що структуровані в паромікрохвильовому випромінюванні, визначають структурними методами досліджень поверхонь частинок кварцового піску суміші після її руйнування. При цьому візуально оцінюють вигляд зруйнованих манжет між частинками вогнетривкого матеріалу суміші і за видом поверхонь руйнування манжет та їх відносної кількості визначають вид руйнування суміші. В якості прикладу, схеми та зовнішній вигляд піщинок кулястої форми в структурованій ПРС з останками зруйнованої манжети представлено на рис. 1 [26].

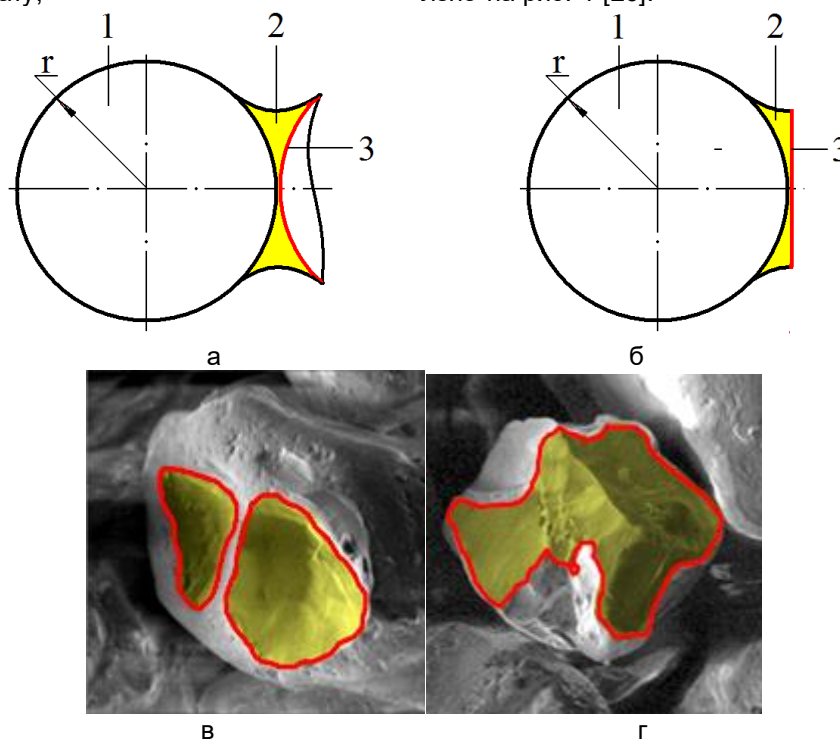


Рисунок 1 – Схеми (а, б) та зовнішній вигляд (в, г, $\times 100$) піщинки кулястої форми в структурованій ПРС з останками зруйнованої манжети за адгезійним (а, в) та когезійним (б, г) механізмом: 1 – піщинка; 2 – залишок манжети; 3 – поверхня руйнування манжети

Червоною лінією на рис. 1 виділено контури зруйнованої манжети, а жовтим зафарбовано поверхню руйнації манжети.

Виходячи з загально прийнятих уявлень, адгезійна міцність структурованої ПРС як системи – це робота, яку потрібно використати до неї, щоб викликати розділення її компонентів по межі їх розподілу (розподілу фаз). Тобто, адгезійна міцність складається з двох компонентів – роботи розриву міжмолекулярних зв'язків (робота адгезії W_a), та роботи, що витрачається на деформацію компонентів адгезійного сполучення (робота деформації $W_{деф}$). З цього витікає, що зміцнення адгезійного сполучення призводить до зростання ступеня де-

формації компонентів системи до моменту її руйнування.

Підвищення адгезійної складової міцності – один з напрямів підвищення загальної міцності та зниження обсягальності ливарних форм та стрижнів. Для цього, наприклад в ПРС, перед приготуванням кварцовий пісок олужують водним розчином їдкою натру [11]. З цією ж метою до змішування кварцового піску з рідким склом (при сушінні ПРС мікрохвильовим випромінюванням) кварцовий пісок попереднього змочують водою [12]. На адгезійну міцність також впливають: поверхневе натягування рідкого скла, стан і вигляд поверхні зерен вогнетривкого наповнювача, модуль пружності силікату

натрію з рідкого скла, полярність рідкого скла та поверхні зерен вогнетривкого наповнювача, ступінь полімеризації рідкого скла, величина водневого показника на межі розділу плівки рідкого скла з зернами вогнетривкого наповнювача, вміст сполучного матеріалу в суміші тощо [13...16].

В свою чергу початкова міцність будь-якої структурованої суміші залежить і від механізму (когезійного, адгезійного, змішаного) її руйнування. При цьому, когезійна міцність формувальних та стрижневих сумішей, як правило, завжди в рази більше міцності адгезійної [17...20].

Таким чином, реальна адгезійна міцність будь-якої суміші залежить від дефектності фаз системи, хімічного складу фаз системи, способу її структуровання, величини залишкових напружень на межі розподілу фаз, шорсткості та чистоти поверхні частинок піску, рельєфу поверхні, форми та розміру піщинок і манжет між ними, хімічної однорідності контактуючих між собою поверхонь, змочуваності поверхні частинок тощо. Тому єдиним фізичним показником, що характеризує істинну адгезію двох тіл безумовно є термодинамічна робота адгезії, яка не залежить від умов випробувань, механізму і умов формування адгезійного сполучення та інших чинників притаманних будь-якій суміші.

За даними А.М. Лясса ПРС мають когезійний механізм руйнування [17], на думку А.А. Жуковського структуровані суміші переважно руйнуються за когезійним механізмом і іноді за змішаним (адгезійно-когезійним) механізмом [21]. При цьому, перехід від когезійного до адгезійного механізму руйнування може проходити за різних умов, у тому числі, і з підвищенням вмісту сполучного матеріалу у суміші [22].

Когезійну міцність рідкого скла, дегідратованого будь-яким способом, збільшують за рахунок підвищення ступеня його полімеризації. При цьому, в затверділому рідкому склі в основному можуть бути присутні [9]: α -SiO₂ – мономерний кремнезем, ланцюжкові та циклічні олігомери зі ступенем полімерності не більше 8; β -SiO₂ – гідратовані полімери кремнезему; γ -SiO₂ – кремнезем структурою близькою до кварцу.

З цього витікає, що когезійна міцність змінюється з втратою рідким склом гідратної води, тобто з часом або температурою сушіння такої суміші. За даними [23], найбільшої міцності структурованих сумішей на основі рідкого скла досягають при їх залишковій вологості 0,3...0,5%. Це означає, що залежність міцності структурованої піщано-рідкоскляної суміші від часу сушіння повинна мати екстремум. Крім того, підвищення когезійної міцності рідкого скла досягають звуженням меж молекулярно-масового розподілу фаз в рідкому склі, підвищенням ступеня кристалічності затверділого рідкого скла, модифікацією рідкого скла пластифікаторами або іншими модифікуючими добавками тощо.

Таким чином, знаючи характер впливу визначальної складової в роботі руйнування будь-якої су-

міші, можливо провести опосередкований вибір або розробку комплексу заходів для зміни її міцності до необхідного рівня. З прикладної точки зору реалізація цього на практиці дозволить у ливарних цехах скоротити термін та витрати на вирішення проблем підвищення якості поточного виробництва в разі їх залежності від властивостей ливарних форм та стрижнів, що використовують.

На сьогодні використання відомих аналітичних залежностей не дає можливості через характер руйнування оцінити як міцність структурованих сумішей, так і роботу їх механічного руйнування. Однією з причин такого стану є складність визначення характеру руйнування структурованих сумішей та його залежність від багатьох чинників. Як наслідок, відомі аналітичні залежності відображають лише зв'язок між обмеженим числом параметрів сумішей, що є, як правило, окремими випадками різноманіття можливих варіантів взаємодій фаз у системах, що розглядаються. Зокрема, Ребіндер П.О., міцність структурованої суміші рекомендує розраховувати за формулою [21]:

$$\sigma = c^* \cdot \sigma^* \cdot \frac{1 - \Pi}{d_c^2}, \quad (1)$$

де c^* – константа; σ^* – міцність індивідуального контакту (манжети) між частками суміші; Π – відносний об'єм пористості суміші; d_c – середній діаметр часток суміші, у якій Ребіндер П.О. вплив вмісту сполучного матеріалу в суміші, характеру її руйнування, типу міцності (на стиск, на розтяг тощо), геометричної форми частинок суміші тощо задає величиною константи c^* . Тим не менше формула (1) або подібні аналітичні залежності в цілому дають достатньо однозначне теоретичне уявлення щодо впливу ряду чинників, що входять в склад залежностей, структурованої суміші як на величину її міцності, так і рівень роботи її вибивання з виливків.

Виходячи з того, що на сьогодні одним з перспективних, але недостатньо досліджених напрямів розвитку процесів структуровання сумішей для ливарних форм та стрижнів є ПРС, які структурують в паро-мікрохвильовому середовищі, робота, яка спрямована на розробку опису характеру їх механічного руйнування є актуальною.

Методика. У роботі використовували кар'єрний кварцовий пісок марки 1K₃O₃O₂ з вмістом глини до 0,1% (за масою), водопровідну воду, натрієве рідке скло з силкатним модулем 2,8...3,0 і питомою щільністю 1,42...1,44 г/см³, картонні стакани з розмірами (Ø80×Ø53)×110 мм, губку поліуретанову. Плакування кварцового піску та його структуровання проводили в паро-мікрохвильовому середовищі за способом ПМЗ [24].

Масу вимірювали на електронних вагах з точністю 0,1 г. Маса водяного заряду для структуровання сумішей складала 1 г. Структуровання проводили в мікрохвильовій печі з магнетроном номінальною потужністю 700 Вт та частотою випроміню-

вання 2,45 ГГц. Час реєстрували секундоміром з точністю 1 с. Для структурування наважки розміщали в центрі обертового столу печі. Ущільнювання плакованого піску проводили на вібростолі після його просівання крізь сито з осередком 0,315 мм. Для випробувань зразки 8-образної форми зі структурованої наважки вирізали механічним шляхом з використанням лезового інструменту. Розміри зразків по перетину їх руйнування виміряли штангенциркулем з точністю 0,1 мм.

Міцність на розтяг структурованих сумішей визначали на приладі мод. LRu-2e відповідно до ГОСТ 23409.7. Структуру поверхонь руйнування ПРС досліджували на растровому електронному мікроскопі мод. РЕМ-106I при прискорювальній напрузі від 20 до 30 кВ і силі струму зонда від 4 μ A до 30 μ A у вторинних електронах з діаметром зонда від 1000 до 200 нм.

Розробку опису механізму руйнування ПРС виконано за результатами аналізу, зіставлення, ви-

ключення та узагальнення відомих та отриманих авторами даної роботи експериментальних та теоретичних досліджень, опублікованих у відкритих наукових джерелах з аналізованої тематики.

Мета досліджень. Дослідити характер та розробити опис зміни характеру механічного руйнування ПРС від часу їх структурування у паро-мікрохвильовому середовищі.

Результати досліджень. За результатами візуальних спостережень встановлено, що характер механічного руйнування ПРС, структурованої за ПМЗ-процесом з 1% (за масою) рідкого скла залежить від тривалості ПМЗ-процесу, зі збільшенням часу якого змінюється від адгезійного (до 2 хв) до змішаного (2...4 хв) і когезійного (понад 4 хв), що витікає з аналізу рис. 2.

Залежність міцності при розтягуванні ПРС з 1% (за масою) рідкого скла від тривалості її обробки в паро-мікрохвильовому середовищі представлена на рис. 3.

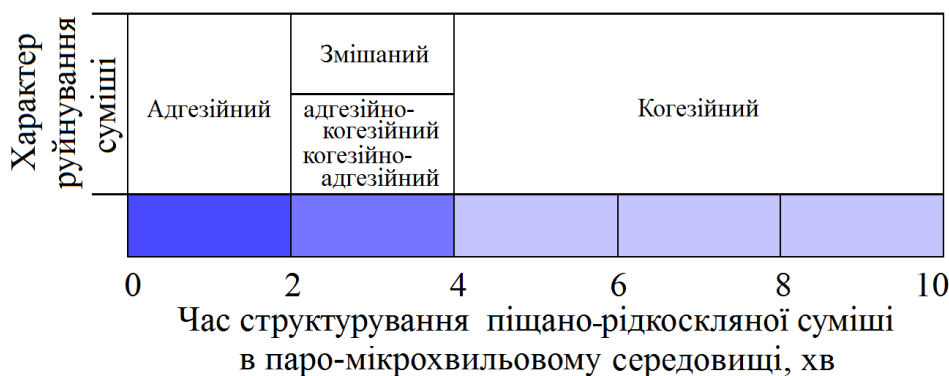


Рисунок 2 – Схема щодо характеру руйнування ПРС від часу її обробки в паро-мікрохвильовому середовищі

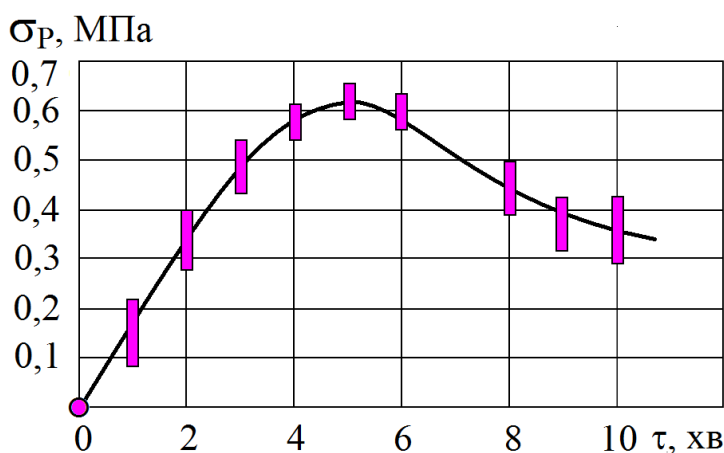


Рисунок 3 – Залежність міцності при розтягуванні ПРС з 1% (за масою) рідкого скла від тривалості її обробки в паро-мікрохвильовому середовищі

З аналізу ходу залежності на рис. 3 витікає, що максимальної міцності досліджувана суміш досягає на ~5 хвилині її обробки в паро-мікрохвильовому середовищі після чого монотонно знижується. Тобто, наявність максимуму підтверджує висновки, які попередньо були зроблені за

даними роботи [23]. При цьому, згідно з зображенням на рис. 2 характер механізму руйнування такої суміші на 4...5 хвилині обробки змінюється зі змішаного (когезійно-адгезійного) до когезійного.

Зміна характеру руйнування ПРС, структурованої в паро-мікрохвильовому середовищі, від адге-

зійного до когезійного можливо пояснити вірогідною різницею в ході залежностей адгезійної та когезійної міцності структурованої ПРС від тривалос-

ті впливу на них мікрохвильового випромінювання за ПМЗ-процесом (див. рис. 4).

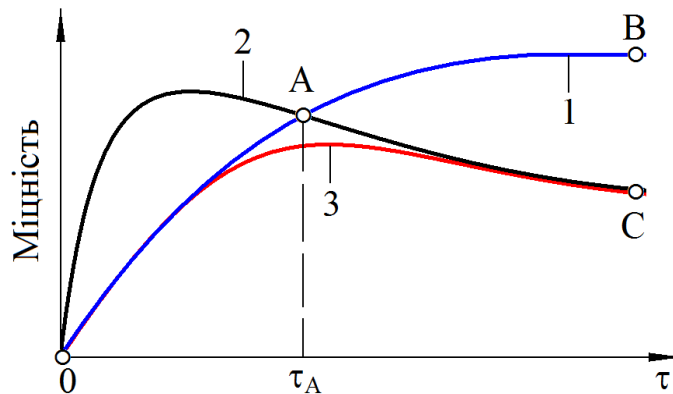


Рисунок 4 – Залежності міцності (1 – адгезійної, 2 – когезійної, 3 – загальної) структурованої ПРС від тривалості її обробки в паро-мікрохвильовому середовищі випромінюванням

Відповідно до схеми на рис. 4, на початку обробки мікрохвильовим випромінюванням когезійна міцність структурованої ПРС перевищує її адгезійну міцність, що пояснює адгезійний механізм руйнування структурованої ПРС. Через час τ_A , ймовірно, зі збільшенням ступенем дегідратації рідкого скла в манжетах структурованої ПРС, величина адгезійної та когезійної міцності стають однаковими або близькими одна до одної (див. точку A на рис. 4) і руйнування її набуває змішаного характеру.

Зі збільшенням тривалості обробки адгезійна (див. A-B на рис. 4) та когезійна (див. A-C на рис. 4) міцність продовжують змінюватись. При цьому адгезійна міцність монотонно підвищується прагнучи до певної межі, а когезійна міцність – зменшується до певної межі. В результаті цього через час τ_A адгезійна міцність перевищує когезійну і, ві-

дповідно, руйнування структурованої ПРС проходить виключно за когезійним механізмом.

Висновки. Не залежно від вмісту рідкого скла в структурованій ПРС характер її руйнування залежить від часу паро-мікрохвильової обробки, який зі збільшенням часу обробки змінюється від адгезійного до змішаного і когезійного.

Відповідно до розробленого опису механізму руйнування перехід від адгезійного до когезійного механізму руйнування, вірогідно, викликано характером ходу залежності підвищення в часі як адгезійної міцності в системі кварц-рідке скло, так і когезійної міцності рідкого скла в манжетах суміші. Виходячи з цього можливо констатувати, що зміна когезійної міцності рідкого скла у часі при мікрохвильовій обробці має екстремальний характер і, вочевидь, зумовлена ступенем полімеризації силікату натрію з рідкого скла під час його дегідратації.

Бібліографічний опис

1. Гримзин И.А., Пономаренко О.И., Мариненко Д.В., Евтушенко Н.С. Исследование процесса сушки гипсовых форм. *Металл и литейные Украины*. 2017. № 2-3 (285-286). С. 41-44.
2. Дворкін Л.Й. Будівельні в'язучі матеріали. Рівне: НУВГП, 2019. 622 с.
3. Мазурак Т.А. Наномодифіковані портландцементні композиції та швидкотверднучі бетони на їх основі. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05 /Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2017. 213 с.
4. Крутилин А.Н., Гуминский Ю.Ю., Русевич О.А. Повышение эффективности использования жидкостекольных смесей. Ч. 4. Комбинированное упрочнение. *Литейные и металлургия*. 2018. №4 (93). С. 38-44.
5. Федотов А.А., Вахнина Т.Н., Титуни А.А., Свиридов А.В. Исследование влияния стабилизаторов на свойства карбамидоформальдегидного связующего и фанеры ФК. *Лесотехнический журнал*. 2020. № 1. С. 136-143.
6. Демчук Ю.Я. Бітуми, модифіковані смолами, одержаними з фенольної фракції кам'яновугільної смоли. дис. ... докт. филос.:161 – хімічні технології та інженерія 16 – хімічна та біоінженерія / Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2020. 213 с.
7. Ищенко С.С., Придатко А.Б., Новикова Т.И., Лебедев Е.В. Взаимодействие изоцианатов с водными растворами силикатов щелочных металлов. *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. 1996. Т. 38, № 5. С. 786-791.

8. Скачкова В.К., Грачев А.В., Шаулов А.Ю., Берлин А.А. неорганические полимеры на основе силикатов натриевого жидкого стекла. Особенности поликонденсации силикатов. *Химическая физика*. 2019. Т. 38. № 9. С. 78-82.
9. Корнеев В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. СПб: Стройиздат, 1996. 216 с.
10. Римар Т.Е. Розробка наукових основ НВЧ-технології композиційних матеріалів для теплоізоляції на основі рідинного скла. дис. ... докт. тех. наук: 05.23.05 / Український державний університет залізничного транспорту. Харків, 2021. 415 с.
11. Походня И.Т., Лихачев Л.И., Чмеленко В.Д. Жидкостекольные смеси на ошелаченных песках. *Литейное производство*. 1969. № 10. С. 35.
12. Stachowicz M., Granat K., Pałyga Ł. Effect of Sand Wetting on Physically Hardened Moulding Sands Containing a Selected Inorganic Binder. Part 2. *Archives of foundry engineering*. 2016. Vol.16, Issue 1. Pp. 79-84.
13. Дан Л.А., Трофимова Л.А., Шепилов В.А., Дан Е.Л. Повышение прочностных свойств сырых песчано-глинистых формовочных смесей путем электромагнитной обработки воды. *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2012. № 24. С. 143-147.
14. Фесенко А.Н., Фесенко М.А., Федоров Н.Н. Влияние влажности и зернистости песка на основе кварца на свойства песчано-глинистой формовочной смеси. *Научный вестник ДГМА*. 2017. №1 (22). С. 104-111.
15. Рагимова К.Э. Промышленное испытание противоположных свойств формовочных и стержневых смесей с техногенными отходами. *Системные технологии*. 2015. № 4(99). С. 49-55.
16. Илларионов И.Е., Петрова Н.В. Жидкостекольные смеси, отверждаемые продувкой углекислым газом. *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*. 2011. № 2(87). С.208-213.
17. Лясс А.М. Быстротвердеющие формовочные смеси. М.: Машиностроение, 1965. 329 с.
18. Васин Ю.П., Васина З.М. Адгезионные свойства поверхности зёрен кварцевого песка. *Вопросы теории и технологии литейных процессов*. Челябинск: ЧПИ, 1981. С.3-6.
19. Великанов Г.Ф., Бречко А.А. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. Л.: Машиностроение, 1982. 214 с.
20. Зыков А.П., Минаев Г.И. Механизм формирования прочностных свойств песчано-смоляных образцов из горячеплакированных смесей. *Литейное производство*. 1984. №1. С. 15-16.
21. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. М.: Машиностроение, 1989. 288 с.
22. Жуковский С.С., Кузнецов Д.А. Упрочнение холоднотвердеющих смесей силанами. *Литейное производство*. 1984. №9. С. 18-19.
23. Гуляев Б.Б. Формовочные процессы. Л.: Машиностроение, 1987. 264 с.
24. Спосіб виготовлення ливарних форм і стрижнів з рідко скляної суміші: пат. 122538 Україна: МПК В22С 9/10, 9/12. № а 201901350; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22. 7с.
25. Солоненко Л.І., Реп'ях С.І., Узлов К.І., Усенко Р.В. Міцність піщано-рідкоскляної суміші, яка структурована способом паро-мікрохвильового затвердіння. *Теорія і практика металургії*. 2019. №6. С. 41-48.
26. Solonenko L., Repiakh S., Uzlov K., Kimstach T. Crushing character of sand-sodium-silicate mixtures structured by steam-microwave treatment. *Proceeding of Odessa Polytechnic University*. 2020. № 3(62). Pp. 5-13.

References

1. Grimzin I.A., Ponomarenko O.I., Marinenko D.V., Evtushenko N.S. Study of the drying process of gypsum molds. *Metal and casting of Ukraine*. 2017. No. 2-3 (285-286). Pp. 41-44.
2. Dworkin L.Y. Building binders. Rivne: NUVHP, 2019. 622 p.
3. Mazurak T.A. Nano modified Portland cement compositions and quick-hardening concretes based on them. thesis ... candidate technical Sciences: 05.23.05 /National University "Lvov Polytechnic". Lvov, 2017. 213 p.
4. Krutylin A.N., Huminsky Yu.Yu., Rusevich O.A. Increasing the efficiency of the use of liquid glass mixtures. Part 4. Combined hardening. *Casting and metallurgy*. 2018. No. 4 (93). Pp. 38-44.
5. Fedotov A.A., Vakhnina T.N., Titunin A.A., Sviridov A.V. Study of the effect of stabilizers on the properties of urea-formaldehyde binder and FK plywood. *Forestry magazine*. 2020. No. 1. Pp. 136-143.
6. Demchuk Yu.Ya. Bitumens modified with resins obtained from the phenolic fraction of coal tar. thesis ... Dr. philos.:161 – chemical technologies and engineering 16 – chemical and bioengineering / Lviv Polytechnic National University. Lviv, 2020. 213 p.
7. Ishchenko S.S., Pridatko A.B., Novikova T.I., Lebedev E.V. Interaction of isocyanates with aqueous solutions of alkali metal silicates. *High molecular weight compound*. Series A. 1996. Vol. 38, No. 5. Pp. 786-791.

8. Skachkova V.K., Grachev A.V., Shaulov A.Yu., Berlin A.A. Inorganic polymers based on sodium liquid glass silicates. Features of polycondensation of silicates. *Chemical physics*. 2019. Vol. 38. No. 9. Pp. 78-82.
9. Korneev V.Y., Danilov V.V. Soluble and liquid glass. St. Petersburg: Stroyizdat, 1996. 216 p.
10. Rymar T.E. Development of scientific foundations of microwave technology of composite materials for thermal insulation based on liquid glass. thesis ... Dr. technical Sciences: 05.23.05 / Ukrainian State University of Railway Transport. Kharkiv, 2021. 415 p.
11. Pokhodnya I.T., Lykhachev L.Y., Chmelenko V.D. Liquid glass mixtures on alkali sands. *Foundry production*. 1969. No. 10. Pp. 35.
12. Stachowicz M., Granat K., Pałyga Ł. Effect of Sand Wetting on Physically Hardened Moulding Sands Containing a Selected Inorganic Binder. Part 2. *Archives of foundry engineering*. 2016. Vol. 16, Issue 1. Pp. 79-84.
13. Dan L.A., Trofimova L.A., Shepilov V.A., Dan E.L. Improving the strength properties of raw sand-clay molding sands by electromagnetic water treatment. *Bulletin of the Azov State Technical University*. 2012. No. 24. Pp. 143-147.
14. Fesenko A.N., Fesenko M.A., Fedorov N.N. Influence of humidity and granularity of sand based on quartz on the properties of sand-clay sand. *Scientific Bulletin of the DSEA*. 2017. No. 1 (22). Pp. 104-111.
15. Ragimova K.E. Industrial testing of non-stick properties of molding and core sands with industrial waste. *System technologies*. 2015. No. 4(99). Pp. 49-55.
16. Illarionov I.E., Petrova N.V. Liquid glass mixtures cured by blowing with carbon dioxide. *Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev*. 2011. No. 2(87). Pp. 208-213.
17. Lyass A.M. Fast hardening sands. M.: Mashinostroenie, 1965. 329 p.
18. Vasin Yu.P., Vasina Z.M. Adhesive properties of the surface of grains of quartz sand. Questions of the theory and technology of foundry processes. Chelyabinsk: ChPI, 1981. Pp. 3-6.
19. Velikanov G.F., Brechko A.A. Molding and core mixtures with specified properties. L.: Mashinostroenie, 1982. 214 p.
20. Zykov A.P., Minaev G.I. Mechanism of formation of strength properties of sand-resin specimens from hot-clad mixtures. *Foundry production*. 1984. No. 1. Pp. 15-16.
21. Zhukovsky S.S. Mold strength. M.: Mashinostroenie, 1989. 288 p.
22. Zhukovsky S.S., Kuznetsov D.A. Strengthening of cold hardening mixtures with silanes. *Foundry*. 1984. No. 9. Pp. 18-19.
23. Gulyaev B.B. Molding processes. L.: Mashinostroenie, 1987. 264 p.
24. A method for preparing liver forms and shearings with a rare glass sumish: Pat. 122538 Ukraine: MPK V22S 9/10, 9/12. No. a 201901350; dec. 02/11/2019; publ. 11/25/2020, Bull. No. 22. 7p.
25. Solonenko L.I., Rep'yakh S.I., Uzlov K.I., Usenko R.V. Mitsnist of food-red-glass sumishi, as it is structured by the method of steam-microfibre hardening. Theory and practice of metallurgy. 2019. №6. pp. 41-48.
26. Solonenko L., Repiakh S., Uzlov K., Kimstach T. Crushing character of sand-sodium-silicate mixtures structured by steam-microwave treatment. *Proceeding of Odessa Polytechnic University*. 2020. № 3(62). Pp. 5-13.