

Будівельні машини і технологічне обладнання

УДК 666.9.022.3+691.33

О.Ю. Крот, к.т.н., доцент
(ХНУБА, Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА СТРУКТУРУ ЗАПОВНЮВАЧА У ВАЛКОВИХ МАШИНАХ

АНОТАЦІЯ. Проаналізовано складові процесу переробки сумішей у машині барабанно-валкового типу. Підтверджено вплив механоактивації сумішей у машині барабанно-валкового типу на форму, структуру і міцність заповнювача. Запропоновано математичну модель взаємодії часток матеріалу в товстому шарі. Показано можливість одержання за допомогою механоактивації раціонального грануляційного складу.

Ключові слова: механічна активація, будівельні суміші, грануляційний склад, пресування.

АННОТАЦИЯ. Проанализированы составляющие процесса переработки смесей в машине барабанно-валкового типа. Подтверждено влияние механоактивации смесей в машине барабанно-валкового типа на форму, структуру и прочность заполнителя. Предложена математическая модель взаимодействия частиц материала в толстом слое. Показана возможность получения с помощью механоактивации рационального грансостава.

Ключевые слова: механическая активация, строительные смеси, гранулометрический состав, прессование.

SUMMARY. Analyzed the processing of mixtures of components in the machine drum. Confirmed the influence of mechanical activation of mixtures in the machine drum on the structure and strength. Was confirmed the influence of mechanical activation of mixtures in the machine drum on the structure and strength of the filler. Was proposed the mathematical model of the interaction of material particles in a thick layer. Was proposed a possibility of obtaining by mechanical activation.

Key words: mechanical activation, mixes, grain size, pressing molding.

Постановка проблеми

Все більш популярною стає ідея активації речовин з метою модифікації їхніх властивостей для використання в різних сферах виробництва і науки. Багато інформації в науково-технічних джерелах присвячено технології і машинам для активації в'язучих речовин. Значно менше прикладів реалізації в обладнанні активації всієї суміші, разом з заповнювачем і зволоженою кінцевою кількістю води. На кафедрі механізації будівельних процесів (МБП) Харківського національного університету будівництва та архітектури (ХНУБА) під керівництвом проф. Болотських М.С. розроблено конструкцію барабанно-валкової машини-активатора (БА) для механічної активації будівельних сумішей [1, 2 та ін.] (рис.1).

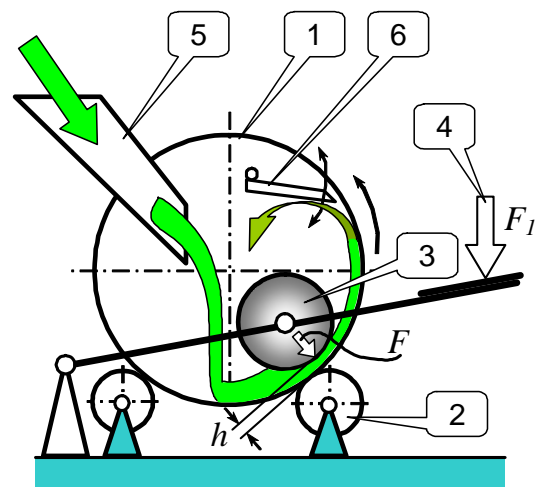


Рис.1. Схема барабанно-валкової машини безперервної дії: 1- барабан, 2- ролики, 3- валок, 4- система притиснення валка до внутрішньої поверхні барабана, 5- завантажувальний лоток, 6-ніж

Машина складається з циліндричного барабана 1, який встановлено на роликках 2 і обертається з надкритичною швидкістю від спеціального привода. Всередині барабана розташований валок 3, що здатний котитися по внутрішній поверхні барабана. Валок 3 притискається до барабана пристроєм 4, наприклад, пневматичним. У верхній частині до барабана притискається ніж 6.

Матеріал (будівельна суміш) завантажується в барабан через лоток 5, прокатується між валком 3 і барабаном 1, зазнаючи механічного тиску, піднімається разом з барабаном, зрізується ножем 6, падає і знову піддається дії валка 3. Розвантаження може бути безперервним, а може – періодичним. Тиск у матеріалі під валком 3 значно (на порядок) менший, ніж у млинах схожої конструкції. Найбільший тиск у матеріалі може становити 1 МПа. Товщина шару матеріалу між валком 3 і барабаном 1, яка залежить від їх розмірів, повинна бути значною – у кілька разів більшою, ніж розмір найбільшого шматка у перероблюваній суміші.

Уявлення щодо процесів, які відбуваються при переробці, схематично подано на рис. 2.

Мета даної публікації – підтвердити існування та вплив на якість виробів перших трьох чинників поданих на рис. 2, а саме, як переробка впливає на зміни форми, структури та міцності заповнювачів.

Більшість сучасних дрібноштучних будівельних виробів – це вироби з бетону. Їх склад – заповнювач, частинки якого з'єднані за допомогою в'язучого та домішки, які поліпшують властивості виробу чи виконують іншу функцію, направлену на підвищення рентабельності.

Аналіз існуючої інформації.

Як заповнювач традиційно застосовується сипкий матеріал достатньої міцності, який у даній місцевості є недорогим. Звичайно використовують дрібнозернистий щебінь, пісок, шлак доменний гранульований або інші природні чи техногенні продукти. Традиційно використовують два заповнювачі, іноді – три (дві фракції щебеню й пісок). Це дозволяє наблизитись до

найкращого складу формівної суміші з точки зору густини виробу (до **оптимального гранулометричного складу суміші**).

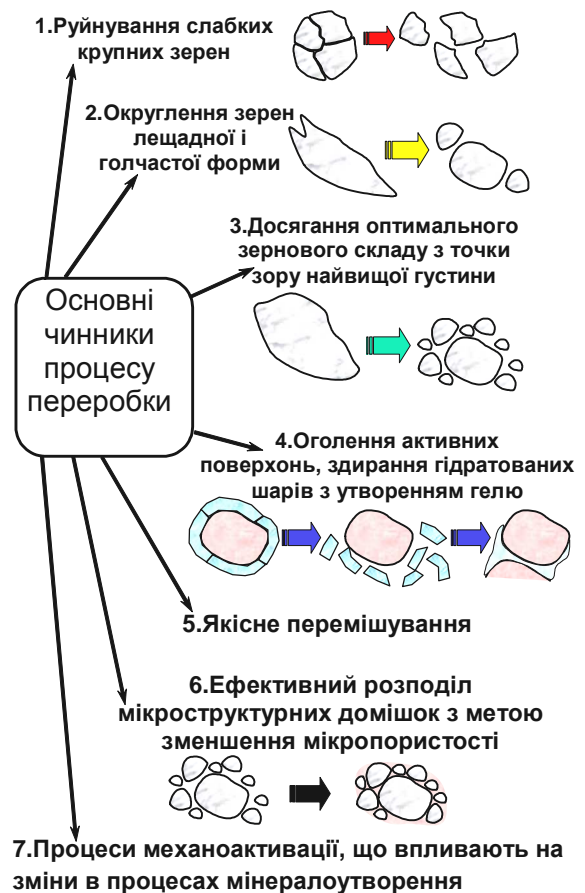


Рис. 2. Процеси, що відбуваються у матеріалі під час його переробці у валковій машині

Зазначимо, часто досягти оптимального грануляційного (зернового) складу суміші на виробництві все ж таки не вдається.

Якість кожного з типів заповнювача, крім чистоти та відсутності забруднюючих домішок, характеризується його марочністю за подрібнюваністю (рос. марка по дробимості, ГОСТ 8269.0-97). Визначення цієї марки засновано на здатності заповнювача, засипаного у циліндричну пресформу, чини опір руйнуванню.

Вказана марочність за подрібнюваністю заповнювача залежить від матеріалу заповнювача (від мінералу, структури, порожнистості) та від форми його зерен. Різні за походженням заповнювачі мають різну форму зерен. Так зерно кварцового піску звичайно обкатане, а зерно щебеню уламкового походження, тому форми його зерен менш правильні. Форма зерен характеризується так званою **лещадністю**. Леща-

дність вимірюється в процентах вмісту зерен пластинчастої та голчастої форми у загальній масі щебеню. Лещадним вважають зерно, у якого найбільший лінійний розмір утричі більше за найменший. За значенням показника лещадності щебінь відносять до однієї з груп (в дужках указано процент голчастих і пластинчастих зерен в загальній масі щебеню): I група — «кубоподібний» щебінь (менше 15 %); II група — «покращена» (від 15 % до 25 %); III група — «звичайна» (від 25 % до 35 %); IV група — «звичайна» (від 35 % до 50 %). Класифікацію наведено згідно з ГОСТ 8267-93. Чим менше лещадність щебеню, тим ближче до кубу форма зерна; такий щебінь вважається більш якісним.

Серед типів сучасного обладнання для одержання кубоподібного щебеню все частіше застосовуються конусні інерційні млини (КИМ) [3]. Принцип переробки у цих машинах має загальні риси з валковими машинами. В них внутрішній конус обігає по внутрішній поверхні зовнішнього конуса, при цьому між їх поверхнями знаходиться перероблюваний матеріал. Подрібнення супроводжується зсувними напруженнями у шарах перероблюваного матеріалу, внаслідок чого зерна матеріалу обертаються одне відносно одного.

Мета досліджень – визначити вплив основних параметрів процесу активації на якість заповнювача, підтвердити можливість одержання у барабанно-валковій машині раціонального грануляційного складу суміші, аналітично змодельовати процес взаємодії лещадних зерен заповнювача у товстому шарі під валком переробної машини.

Виклад основного матеріалу

Зміна форми частинок у напрямку зменшення лещадності спостерігалася у всіх дослідженнях на валкових машинах. Зокрема були здійснені переробки вапнякового щебеню, одержуваного як відсів вапняку, що подається на обпалювання у шахтну піч за технологією виробництва силікатної цегли (Курязький завод силікатних виробів). Крупність вихідного (початк.) щебеню – до 20мм.

Методика досліджувань за подрібнюваністю була стандартною (ГОСТ 8269.0-97). До переробки подрібнюваність щебеню складала $\approx 20\%$, що відповідає марочності 400 за подрібнюваністю (ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Технические условия.). Після переробки форма зерен щебеню змінилася у напрямку «кубоподібності» (рис.3). Подрібнюваність щебеню після переробки склала $\approx 7\%$, що відповідає марочності 1200 за подрібнюваністю.

Досліджено міцність щебеню на стирання (зношення). Ця властивість показує здатність щебеню чинити опір удару, сколюванню кромки і тертю, що діють одночасно. Для дослідження застосовується полицевий барабан – обертовий сталевий циліндр діаметром 0,7м, всередині якого закріплено полицю шириною 100 мм зі сталевого кутика. Як полицевий барабан було застосовано лабораторний барабанний млин кафедри МБП ХНУБА. Промита і висушена проба щебеню до і після переробки у барабанно-валковому активаторі розсіювалася на ситах для одержання фракції 5 ... 10 мм, у барабан завантажувалося 5 кг щебеню і п'ять сталевих куль діаметром близько 50 мм. Частота обертання складала близько 30об/хв, кількість обертів – 500. Показник стирання розраховувався за втратою проби маси відповідно формули

$$I = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (1)$$

де m — маса проби до стирання, г; m_1 — маса залишку на ситі 5 мм. Марку щебеню визначали за таблицею 1.

Таблиця 1
Визначення марки щебеню за показником стирання

Марка щебеню	Показник I , %	
	Вивержені породи	Вапняки, доломіти
<i>I-I</i>	менше 26	менше 31
<i>I-II</i>	26 ... 35	31 ... 40
<i>I-III</i>	36 ... 45	41 ... 50
<i>I-IV</i>	46 ... 55	51 ... 60

Методика досліджень була такою. Досліджувався гранітний щебінь фракції 5 ... 20 мм, з якого відсівалася контрольна фракція 5-10мм, яка показала показник $I=30-35\%$ (*II-II*). Та ж вихідна фракція 5-20 мм піддавалася переробці у барабанно-валковому активаторі циклічної дії протягом 1, 1,5 та 2 хвилини з сталим притискуванням, що забезпечував тиск у матеріалі близько 1-2МПа. Після цього з переробленого матеріалу відсівалася фракція 5 ... 10мм, яка після промивки та просушування піддавалася випробуванню на показник стирання. Показник *I* для вказаних тривалостей переробки складав відповідно близько 22, 20 та 19%, що відповідає марці *II-I* у всіх трьох випадках.



Рис. 3. Заповнювач після переробки має обкатану (кубоподібну) форму

Для пояснення зміни структури заповнювача було змодельовано процес взаємодії лещадних зерен у товстому шарі матеріалу.

Було висунуто гіпотезу, що навіть при однакових швидкостях матеріалу на поверхні валка та поверхні барабана (рис.1), середні (віддалені від поверхонь барабана і валка) шари матеріалу рухаються з випередженням. Для перевірки цієї гіпотези зроблені два наступні досліді.

По-перше, при переробці дрібнозернистої суміші, що містила гранвідсів та гранітний щебінь “насіння”, а також пісок і цемент, машину було зупинено без розвантаження з неї матеріалу, і в такому стані машину

залишено на кілька діб. Після твердіння бетону його було розпиляно алмазним диском. Отриманий в результаті цього фрагмент шару матеріалу – на рисунку 4,а. На перерізі наочно видно, що розташування заповнювача має помітну тенденцію до паралельності робочим органам, тобто, не цілком хаотично. Для більшої наочності наведено масштабну схему (рис. 4,б), на якій відрізками зображено найбільші діагоналі частинок.

По-друге, картина розподілу зсувів шарів матеріалу досліджено таким чином: у шарі матеріалу виконувалась канавка, площа якої була радіальною відносно барабана. Канавка заповнювалася порошкоподібною фарбою, після чого машина включалася зі знятим ножом. Після кількох обертів машина зупинялася, а суміш тверділа протягом кількох діб. Затверділий бетон розрізався алмазним інструментом. Одержана картина розподілу шарів – на рисунку 4,а перед сірниками. Вона підтверджує помітне випередження середніх (трохи ближче до валка) шарів матеріалу.

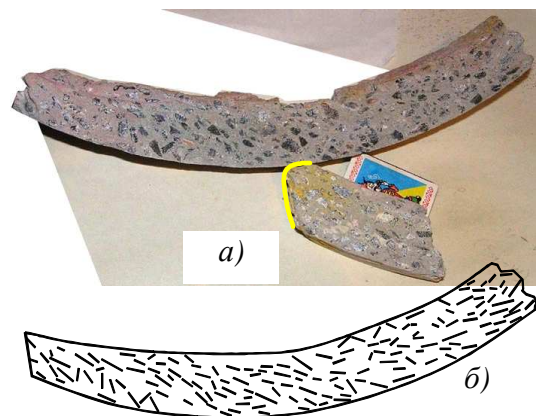


Рис. 4. Поздовжній переріз шару матеріалу: а – фактичний; б – схематичний

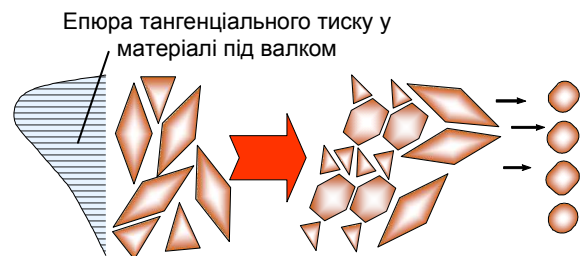


Рис. 5. Ілюстрація взаємного руху частинок при їх обкатуванні

Для моделювання цього процесу розглянемо довільну частинку лещадної форми у матеріалі під валком поблизу найменшого перерізу шару матеріалу, тиски та сили, що на неї діють (рис. 5 та 6). Розглядуване зерно защемлене між іншими зернами, що розташовані у шарі нижче (рис. 6). На верхню і на нижню половини зерна діє певний тиск. Середній тиск, що діє на верхню половину зерна $\approx (2/3)\tau_{max}$, а на нижню половину $\approx (1/6)\tau_{max}$.

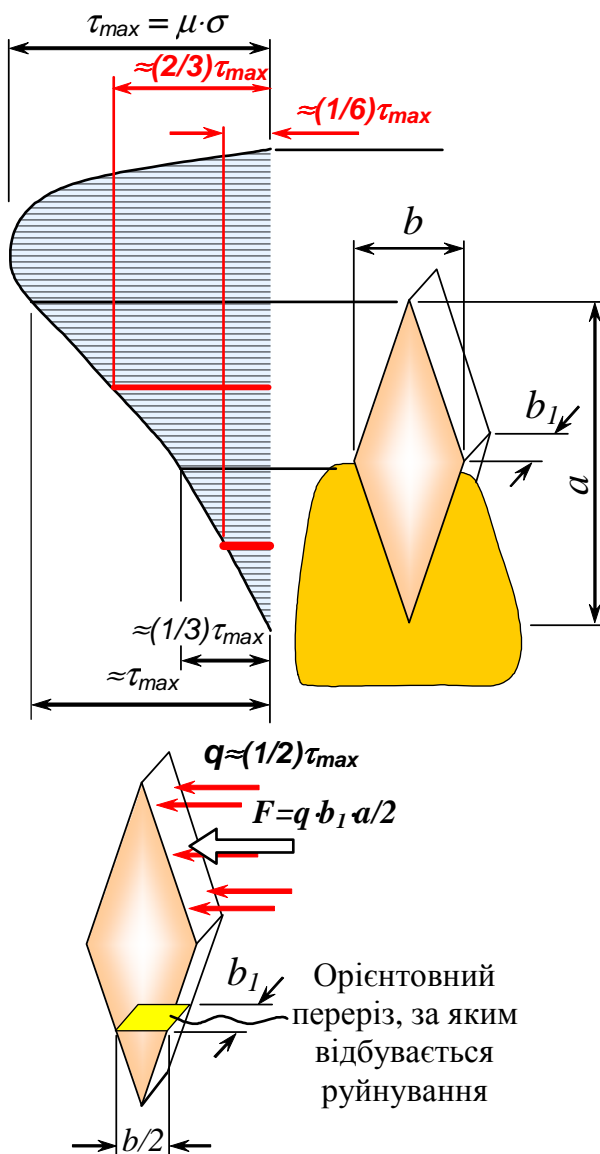


Рис. 6. Утворення згинальних напружень у зернах матеріалу

$W \approx \frac{\left(\frac{b}{2}\right)^2 \cdot b_1}{6}$ - момент опору перерізу зерна, m^3 .

Згинальний момент:

$$M_{згин} = F \cdot l = \frac{F \cdot a}{2} \quad (2)$$

Згинальне напруження у цьому випадку складе

$$\begin{aligned} \sigma_{згин} &= \frac{M_{згин}}{W} = \frac{\frac{F \cdot a}{2}}{\frac{\left(\frac{b}{2}\right)^2 \cdot b_1}{6}} = \frac{\frac{q \cdot b_1 \cdot a \cdot a}{2}}{\frac{\left(\frac{b}{2}\right)^2 \cdot b_1}{6}} = \\ &= \frac{3 \cdot q \cdot a^2}{2 \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2} = \frac{3 \cdot q \cdot a^2}{\frac{2 \cdot b^2}{4}} = \frac{6 \cdot q \cdot a^2}{b^2} \quad (3) \end{aligned}$$

Якщо, згідно припущенню [4], $q = (1/2)\tau_{max}$, то

$$\sigma_{згин} = \frac{6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \tau_{max} \cdot a^2}{b^2} \quad (4)$$

За рекомендаціями дослідників [4], максимальне тангенціальне напруження у суміші (поблизу поверхні валка) виражаємо через контактне напруження стискання p (нормальний тиск під валком) та коефіцієнт тертя μ матеріалу об поверхню валка: $\tau_{max} = \mu \cdot p$.

$$\sigma_{згин} = \frac{6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot p \cdot a^2}{b^2} = 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot p \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 \quad (5)$$

У цій залежності μ може знаходитись у інтервалі 0,3 ... 0,5; тиск p – нормальний тиск під валком, технологічна характеристика, що встановлює рівень силового впливу на матеріал. В залежності від матеріалу та ступіня переробки складає 1 ... 3 МПа.

Як видно із залежності, згинальний момент не залежить безпосередньо від розміру частинки, а залежить від квадрату відношення її розмірів (найбільшого до найменшого).

У прикладі розрахунку при нормальному тиску під валком 2МПа, коефіцієнти $\mu=0,3$ і співвідношенні лінійних розмірів зерна (найбільшого до найменшого) 4, у частинці виникає згинальне напруження близько 30 МПа. Такого напруження достатньо для руйнування зерна в розглянутому перерізі. Масове руйнування виступаючих елементів частинок приводить у процесі прокатки матеріалу під валком до округлення, зменшення лещадності частинок навіть матеріалів великої міцності і навіть маленькими тисками (і зусиллями) притискання.

Суттєво збільшити величину тангенціального напруження у оброблюваному шарі можна за рахунок примусового забезпечення різниці у швидкостях поверхонь робочих органів (валка та барабана, чи валка та тарілки).

Запропонований аналітичний підхід пояснює здатність реалізованого принципу подрібнювання матеріалу між валком і внутрішньою поверхнею барабана. Суть принципу - подрібнювання матеріалу переважно згинальними напруженнями.

Загально визнано, що показники якості дрібноштучних бетонних виробів ДШБВ (густина, міцність, морозостійкість) значною мірою залежать від зернового складу заповнювачів (далі – ЗС) дрібнозернистого бетону. Середній розмір зерен заповнювача зручно характеризувати коефіцієнтом крупності частинок (ККЧ), який визначається аналогічно модулю крупності піску. ККЧ розраховується шляхом ділення на 100 сумарного відсотка частинок, що залишилися на 7 ситах: у системі ASTM – 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100; у метричній - відповідно, з отворами 10,0; 5,0; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 і 0,16 мм. Американський дослідник Бенджамін Уїлк у середині минулого століття визначив, що раціональна величина ККЧ, яка забезпечує найбільшу міцність виробів, знаходиться у діапазоні

3,5-4,5. Одним із світових лідерів у галузі обладнання для вібропресування ДШБВ є американська фірма «Columbia». Фірмою рекомендовані три так звані безперервних ЗС із приблизно рівномірним змістом

окремих фракцій – нормальний (КН), крупний (КК) і дрібний (КДР). Склад КН дає вищу міцність, але грубозернисту структуру, склад КДР – програє у міцності, але сприяє отриманню гладких поверхонь виробів. Указані ЗС отримують змішуванням двох-трьох “З”, наприклад, щебінь (Щ) фракції 5...10 мм, крупнозернистий пісок (гранітний відсів - ГВ) і пісок (П). Якщо мати Щ із ККЧ = 5,4 і ГВ із ККЧ = 2,7, то для отримання ЗС із ККЧ = 3,7, до Щ треба додати 63% ГВ (знайдено таким чином: $\%ГВ = 100(5,4-3,7)/(5,4-2,7) = 63\%$).

Очевидно, що отримати один з указаних раціональних ЗС можливо тільки за наявності сировинних компонентів високої якості й наявності відповідного обладнання для складування і точного дозування.

На основі співставлення вимог до ЗС, що забезпечить найбільш щільне укладання, та процесу переробки у валкових машинах, який забезпечує укладання частинок у кожному циклі, було висунуто гіпотезу про можливість одержання раціонального ЗС безпосередньо у валковій машині з заповнювача більш крупної фракції. При цьому, змінюючи параметри валкової машини, можна змінювати одержуваний фракційний склад.

Для підтвердження гіпотези про можливість керування ЗС, який є продуктом переробки у БВА, була виконана серія вимірювань ЗС означених продуктів при змінному зусиллі притискання валка до шару заповнювача, яке задавалося тиском у пневмоциліндрі. Результати серії приведені у табл. 2 і проілюстровані на рис.7 та 8. Порівняльний аналіз із ЗС, рекомендованими фірмою «Columbia» для забезпечення найбільш щільного укладання зерен при ВП, свідчить, по-перше, про те, що *отриманий після переробки в БВА зерновий склад близький до рекомендованого складу*. По-друге, *підтверджує можливість варіювання ККЧ регулюванням сили притискання валка до шару*.

Так, підтверджено можливість вибору такого рівня тиску під валком, щоб він був достатній для подрібнення слабких часток і отримання потрібного ЗС, але не надмірним.

Таблиця 2

Заповнювачі дрібнозерн. бетону, рекомендовані фірмою «Columbia» для метода вібропресування, а також отримані після переробки у БВА

Сумарні залишки на ситах % (зерновий склад заповнювача)					
Отвори, мм	рекомендації фірми «Columbia»			Після обробки в БВА при зусиллі F_1 (рис.1)	
	нормальний	дрібний	крупний	4кН	6кН
5	25	20	30	15	30
2,5	40	35	50	31	47
1,25	55	50	70	46	61
0,63	70	66	80	63	74
0,315	85	85	90	79	86
0,16	95	94	98	95	96
ККЧ	3,7	3,5	4,2	3,26	3,9

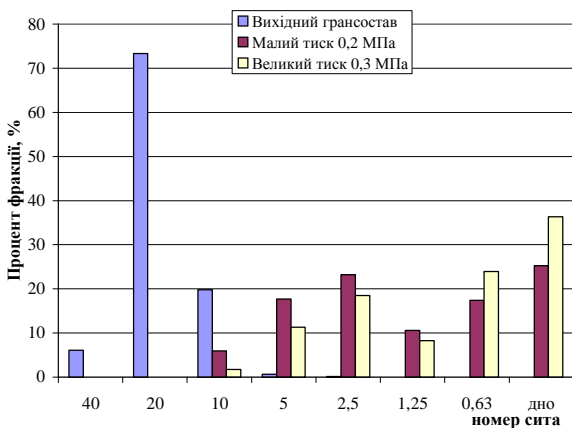


Рис.7. Характеристика зернового складу ВВ до та після переробки у БВА БД при зусиллі F_1 (рис.1): 4кН (темні стовпчики) та 6кН (світлі).

Для одночасного вивчення впливу параметрів активації на зміну гранулометричного складу було проведено факторний експеримент. Застосовувався барабанно-валковий активатор періодичної дії. Досліджуваною функцією був коефіцієнт крупності частинок (ККЧ), фактори – зусилля притискання валка до матеріалу (тиск у матеріалі), час переробки та товщина шару матеріалу під валком (одержане рівняння регресії – формула (6)).

$$\begin{aligned}
 \text{ККЧ} = & b_0 + \left(b_1 \cdot \frac{F - 12070}{5000} \right) + \left(b_2 \cdot \frac{t - 105}{53} \right) + \\
 & + \left(b_3 \cdot \frac{h - 32.5}{5.3} \right) + b_4 \cdot \left(\frac{F - 12070}{5000} \right)^2 + b_5 \cdot \left(\frac{t - 105}{53} \right)^2 + \\
 & + b_6 \cdot \left(\frac{h - 32.5}{5.3} \right)^2 + b_7 \cdot \left(\frac{F - 12070}{5000} \right) \cdot \left(\frac{t - 105}{53} \right) + \\
 & + b_8 \cdot \left(\frac{t - 105}{53} \right) \cdot \left(\frac{h - 32.5}{5.3} \right) + \\
 & + b_9 \cdot \left(\frac{F - 12070}{5000} \right) \cdot \left(\frac{h - 32.5}{5.3} \right) + \\
 & + b_{10} \cdot \left(\frac{F - 12070}{5000} \right) \cdot \left(\frac{t - 105}{53} \right) \cdot \left(\frac{h - 32.5}{5.3} \right)
 \end{aligned} \quad (6)$$

де $b_0=4$; $b_1=-0.6$; $b_2=-0.4$; $b_3=-0.35$; $b_4=0.2$; $b_5=0.1$; $b_6=0.08$; $b_7=0.03$; $b_8=-0.03$; $b_9=0.03$; $b_{10}=0.1$.

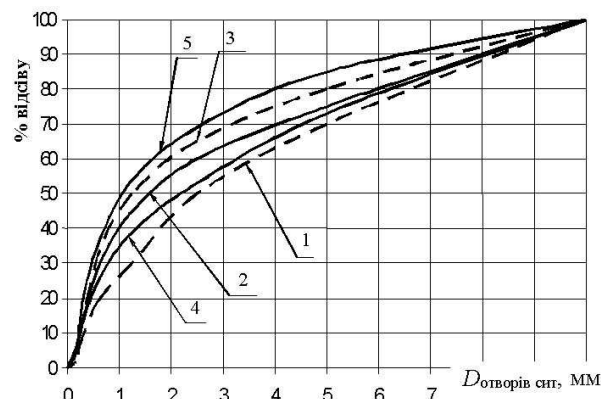


Рис. 8. Гранулометричні характеристики (ЗС) бетону: 1,2,3 – характеристики зернових складів заповнювачів, рекомендованих фірмою «Columbia» для метода ВП (1 – крупного, ККЧ = 4,2; 2 – нормального, ККЧ = 3,7; 3 – дрібного, ККЧ = 3,5); 4, 5 – характеристики зернових складів, отриманих після переробки в АВВТ при тиску в пневмоциліндрі, 0,2 (ККЧ = 3,95) і 0,3 МПа (ККЧ = 3,25)

Застосовувався ортогональний план другого порядку, що забезпечує рівність нулю всіх коваріацій між коефіцієнтами у рівнянні регресії і найбільшу точність поблизу центра плану.

Фактори та інтервали їх варіювання:

- Зусилля притискання валка (рис. 1) F , у межах від $F = 5\text{кН}$ до $F = 19,14\text{кН}$.
- Час переробки матеріалу у БВА t , у межах від $t = 30\text{с}$ до $t = 180\text{с}$.
- Висота шару матеріалу h , у межах від $h = 25\text{мм}$ до $h = 40\text{мм}$.

Кожний з факторів приймав одне з п'яти значень (для кодових рівнів +1, 0, -1 та точок +1,414 і -1,414).

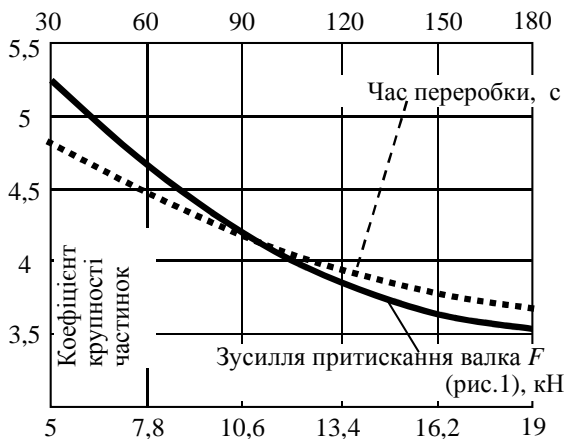


Рис. 9. Залежність ККЧ заповнювача від зусилля притискання валка (товщина шару матеріалу 37мм, час 105с) та від часу переробки (товщина шару матеріалу 37мм, зусилля притискання валка 12кН)

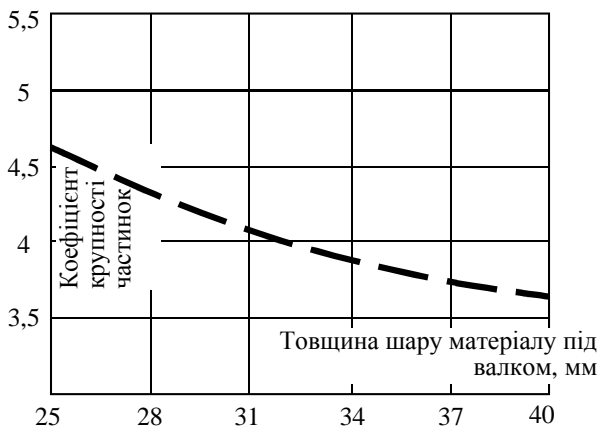


Рис. 10. Залежність ККЧ заповнювача від товщини шару матеріалу під валком (зусилля притискання валка 12кН, час переробки 105с)

Висновки:

- форма зерен суміші в результаті переробки у валкових активаторах суттєво змінюється, наближаючись до обкатаної (кубоподібної) форми, яка забезпечує більшу міцність виробів, маючи більшу марку як за подрібнюваністю, так і за стиранням;
- гранулометричний склад кінцевого матеріалу добре піддається корегуванню, технологічними параметрами переробки (товщина шару суміші, тиск та час переробки) і може забезпечити одержання суміші з раціональним гранулометричним складом

з використанням лише однієї фракції вихідного матеріалу (з додаванням в'язучого);

- нормальний тиск під валком у шарі подрібнюваного матеріалу (близько 1 ... 2МПа) недостатній для подрібнення щебеню стисканням, отже у процесі переробки у матеріалі під дією робочих органів виникають напруження іншого напрямку (не стискання), які здатні руйнувати матеріал, сколюючи гострі кути зерен;
- запропоновано математичну модель взаємодії частинок матеріалу в товстому шарі валкових активаторів.

Література

1. Патент 72480 UA, МКІ В02С 15/06, В28С 1/10. Активатор циклічної дії/ Болотських М.С., Савченко О.Г., Федоров Г.Д., Крот О.Ю. - №2001042769 Заявл. 24.04.2001; опубл. 15.03.2005. Бюл. №3, 2005р.
2. Патент 58226А UA, МКІ В02С 15/06, В28С 1/10. Активатор бетонної суміші/ Болотських М.С., Савченко О.Г., Федоров Г.Д., Крот О.Ю., Тимошенко А.М.- №2002108659 Заявл. 31.09.2002; опубл. 15.07.2003. Бюл. №7, 2003р.
3. Бабаев Р.Г. Обоснование рациональных параметров конусной инерционной дробилки для получения заданного гранулометрического состава продукта дробления: автореферат дис. к.т.н.: 05.05.06 / гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова – С.-Петербург, 2005 - 20с.
4. Зайченко С.В. Контактна взаємодія робочих органів безвібраційних бетоноформуєчих агрегатів при виробництві пустотних панелей: Дис. канд. техн. наук: 05.05.02. /Київ, 2001.– 181 с.

Рецензент: А.М. Іванов, д.т.н., проф.
(ХНУБА, Харків)

Отримано: 28.11.2011 р.