

Прессованные цементно-минеральные композиты для дорожного строительства

С.Н. Курилова

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на Дону

Аннотация: Представлена характеристика прессованных мелкоштучных дорожных изделий. Рассмотрено влияние рецептурных и технологических факторов на свойства изделий. Определены рациональные параметры исследуемых факторов. Подтверждено получение прессованных композитов для дорожного строительства с необходимыми эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: цемент, заполнитель, вода, прессование, давление, твердение, плотность, прочность, водопоглощение.

Прессованные мелкоштучные дорожные изделия, например, тротуарная плитка, брусчатка, бортовой камень, в соответствии с нормативными требованиями [ГОСТ 17608-91] должны иметь класс по прочности на сжатие от В22,5 до В30, класс по прочности на изгиб от $B_{fb}3,2$ до $B_{fb}4,4$, истираемость на более 0,5- 0,9 г/см², марку по морозостойкости не менее F200 и водопоглощение по массе не более 6%. Большое значение придается качеству изделий, а именно сохранению их четких граней и ребер и целостности.

Прессованные изделия для дорожного строительства являются многокомпонентными системами, состоящими из вяжущего вещества, одного или нескольких минеральных заполнителей песчаных фракций и небольшого количества воды. Для прессованных дорожных изделий необходимо использовать бездобавочный портландцемент марки М 500, а в качестве заполнителей мелкий кварцевый песок и отходы от дробления прочных горных пород, например гранита, сиенита, песчаника, известняка и др. [1, 2]. Водоцементное отношение формовочных смесей для таких изделий должно быть не более 0,4. Смеси засыпают в матрицу пресса и уплотняют под давлением 20-40 МПа и более [3]. Сразу после прессования изделия

обладают необходимой распалубочной прочностью не менее 0,8 МПа для извлечения из матрицы и дальнейшего транспортирования на пост тепловлажностной обработки или естественного твердения.

Актуальной задачей в области прессованных мелкоштучных изделий для дорожного строительства является обеспечение нормативных свойств изделий, изготавливаемых на основе местного сырья и отходов промышленности.

Решение поставленной задачи возможно при правильном назначении рецептурно-технологических факторов в процессе изготовления изделий.

К рецептурным факторам относятся расход цемента, воды и минеральных заполнителей, а также зерновой состав смеси минерального заполнителя. К технологическим факторам относятся физико-механические свойства цемента и заполнителей, давление уплотнения формовочных смесей и условия твердения изделий.

Большую роль в формировании структуры изделий играют такие факторы, как активность и количество цемента, зерновой состав и количество минеральных заполнителей, зерновой состав смеси минерального заполнителя, количество воды, давление прессования и условия твердения. Чтобы управлять структурообразованием изделий, необходимо сначала оценить свойства исходных компонентов, подобрать удовлетворительный зерновой состав смеси минерального заполнителя, правильно назначить дозировку компонентов, назначить рациональное давление прессования и выбрать благоприятные параметры твердения изделий [4, 5].

Наиболее важным фактором в структурообразовании прессованных дорожных изделий является зерновой состав минерального заполнителя [6]. В результате ряда исследований был определен рекомендуемый зерновой состав смеси минерального заполнителя, в котором содержание фракции 1,25 - 5 мм – 5 - 8%, фракции 0,315 - 1,25 мм – 47 - 50% и фракции менее 0,315

мм – 32 - 35%. Обеспечение этого зернового состава позволяет получать дорожные изделия с нормируемыми эксплуатационными свойствами. О важности обеспечения рекомендуемого зернового состава смеси минерального заполнителя для прессованных мелкоштучных дорожных изделий свидетельствуют результаты эксперимента, в котором анализировались два состава: исходный состав (I) с неудовлетворительным зерновым составом минерального заполнителя и состав с рекомендуемым зерновым составом (II) смеси минерального заполнителя (таблица №1). В исходном составе минеральный заполнитель был представлен отсевом сиенита в количестве 70% от массы минеральных компонентов. В составе с рекомендуемым зерновым составом (II) минеральный заполнитель также составлял 70% от массы минеральных компонентов, но был представлен смесью отсева сиенита в количестве 82% от смеси минерального заполнителя и очень мелкого кварцевого песка в количестве 18% от смеси минерального заполнителя. Расход портландцемента в обоих составах составлял 30% от массы минеральных компонентов, а расход воды был 5% от массы сухих компонентов. Прессование образцов-цилиндров диаметром и высотой 0,07 м проходило при давлении 40 МПа. Образцы твердели в условиях тепловлажностной обработки (ТВО) по режиму (2+6+2) ч при температуре изотермической выдержки $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$, а затем хранились 27 суток в естественных условиях.

Таблица № 1

Составы прессованных дорожных изделий

№ п/п	Название состава (маркировка)	Наименование компонента	Расход компонента, %	
1	Исходный состав (I)	Цемент	30	
		Отсев	70	
		Вода	5	
2	С рекомендуемым зерновым составом	Цемент	30	
		Отсев	70	82

	(II)	Песок	18
		Вода	5

Обогащение зернового состава отсева сиенита очень мелким кварцевым песком и обеспечение рекомендованного зернового состава минерального заполнителя позволило увеличить расплубочную прочность, прочность при сжатии, прочность на растяжение при раскалывании и снизить водопоглощение по массе затвердевших дорожных изделий (таблица №2).

Таблица № 2

Физико-механические свойства затвердевших дорожных изделий

№ п/п	Название состава (маркировка)	Распалубочная прочность, R_c , МПа	Прочность при сжатии, R_b , МПа,	Прочность на растяжение при раскалывании, R_{tt} , МПа	Водопоглощение по массе, W_m , %
1	Исходный состав (I)	1,77	37,2	2,93	6,0
2	С рекомендуемым зерновым составом (II)	1,90	49,3	3,12	5,8

Таким образом, назначение рекомендуемого зернового состава смеси минеральных заполнителей в прессованных мелкоштучных дорожных изделиях позволяет улучшить их свойства и обеспечить соответствие нормируемым свойствам.

Вторым по важности рецептурным фактором, который влияет на структурообразование и свойства прессованных мелкоштучных дорожных изделий является расход воды в формовочной смеси [7]. Влияние этого фактора рассмотрим на примере изделий, состоящих из портландцемента М 400, отсева от дробления сиенита, мелкого песка и воды. Зерновой состав смеси минерального заполнителя отсева сиенита и песка соответствовал

рекомендованному зерновому составу для прессованных дорожных изделий. Содержание цемента в изделиях составляло 25% от массы минеральных компонентов, а расход воды варьировался от 3 до 13% от массы сухих компонентов с шагом 2,5%. Прессование изделий осуществлялось при давлении 40 МПа (таблица №3). Изделия твердели в условиях тепловлажностной обработки по режиму (2+6+2) ч при температуре изотермической выдержки $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Таблица № 3

Влияние расхода воды на свойства прессованных дорожных изделий

№ п/п	Расход воды, %	Средняя плотность свежеотформованных изделий, ρ_0 , кг/м ³	Распалубочная прочность свежеотформованных изделий, R_c , МПа	Средняя плотность изделий после ТВО, ρ_0 , кг/м ³	Прочность изделий на сжатие после ТВО, $R_{сж}^{ТВО}$, МПа
1	3	2160	1,37	2173	29,4
2	5,5	2175	1,46	2193	46,7
3	8	2270	1,08	2260	66,2
4	10,5	2280	0,93	2250	55,2
5	13	2273	0,88	2246	54,4

Анализ представленных результатов показывает характерную особенность прессованных мелкоштучных дорожных изделий, которая заключается в наличии двух оптимумов водосодержания: одного для распалубочной прочности свежеотформованных изделий, а другого для прочности затвердевших изделий. В данном эксперименте максимальная распалубочная прочность изделий составляет 1,46 МПа при расходе воды 5,5%, а максимальная прочность на сжатие после тепловлажностной обработки (ТВО) - 66,2 МПа при расходе воды 8%. Отклонение от каждого

из оптимумов в расходе воды приводит к существенному снижению прочности.

Распалубочная прочность свежеотформованных изделий с увеличением расхода воды сначала растет и при оптимальном водосодержании 5,5% достигает прочности 1,46 МПа (таблица №3). Это объясняется проявлением «стягивающего» эффекта капиллярных сил, наблюдаемого при низких водосодержаниях, [7] и сближением частиц материала с повышением его плотности и прочности. Увеличение расхода воды выше оптимального значения приводит к снижению распалубочной прочности прессованных изделий. Это объясняется проявлением «расклинивающего» эффекта капиллярных сил, наблюдаемого при утолщении водных оболочек, [7] удалением частиц материала друг от друга и разуплотнением системы. Также при расходе воды выше оптимального значения начинает проявляться роль заземленного воздуха. Так как при прессовании происходит мгновенное приложение давления, то при расходах воды выше оптимального она отжимается в открытые поры и сжимает воздух [8]. Наличие заземленного воздуха в порах приводит к разуплотнению системы и уменьшению количества контактов взаимодействия твердых частиц, что и снижает распалубочную прочность материала.

Прочность на сжатие прессованных изделий после тепловлажностной обработки (ТВО) с увеличением расхода воды также увеличивается, но достигает максимального значения 66,2 МПа при большем расходе воды 8% (таблица №3). Большой расход воды, соответствующий оптимальному водосодержанию, объясняется гидратацией клинкерных минералов портландцемента. С увеличением водосодержания выше оптимального значения прочность затвердевших изделий снижается. Это объясняется проявлением "расклинивающего эффекта" капиллярных сил [7] и разуплотнением системы.

Таким образом, расход воды существенно влияет на структурообразование и свойства прессованных дорожных изделий. Учитывая наличие двух оптимумов водосодержания для свежеотформованных и затвердевших изделий, необходимо назначать расход воды в прессованных изделиях так, чтобы обеспечивалась нормируемая прочность затвердевших изделий в сочетании с их необходимой распалубочной прочностью.

Важным фактором, влияющим на структурообразование и свойства прессованных мелкоштучных дорожных изделий, является расход цемента и его свойства. Это подтверждают результаты следующего эксперимента. В эксперименте для первой серии образцов (I) был использован портландцемент активностью 39,6 МПа с удельной поверхностью 2900 см²/г. Для второй серии образцов (II) удельную поверхность цемента увеличили до 4350 см²/г. Активность цемента при этом составила 59,4 МПа. Количество цемента в каждой серии было принято 8, 11 и 14% от массы минеральных компонентов. В качестве заполнителей использовались мелкий кварцевый песок и дробленый мел. Зерновой состав смеси минеральных заполнителей соответствовал рекомендуемому для прессованных дорожных изделий. Водосодержание формовочных смесей во всех составах было принято 6,5% сверх массы сухих компонентов (таблица №4). В каждом составе формовались образцы-цилиндры при давлении 25, 40 и 55 МПа.

Таблица № 4

Свойства цемента и составы прессованных дорожных изделий

№ п/п	Маркировка серии	Свойства цемента		Маркировка составов	Расход цемента, %	Расход заполнителей, %	
		Активность цемента, R _ц , МПа	Удельная поверхность, см ² /г			Песок	Мел

1	I	39,6	2900	I-1	8	82	10
				I-2	11	79	10
				I-3	14	76	10
2	II	59,4	4350	II-1	8	82	10
				II-2	11	79	10
				II-3	14	76	10

Одна часть образцов в серии подвергалась тепловлажностной обработке (ТВО) по режиму (2+6+2) ч при температуре изотермической выдержки $(85\pm 2)^\circ\text{C}$, а потом твердела 27 суток в естественных условиях, а вторая часть образцов твердела только в естественных условиях.

Анализ результатов испытаний образцов (таблица №5) показывает, что независимо от условий твердения, с увеличением расхода цемента, повышением его активности и удельной поверхности плотность и прочность при сжатии прессованных дорожных изделий возрастает, а водопоглощение по массе – закономерно снижается. Это объясняется тем, что в формировании структуры цементного камня большую роль играет размер и количество частиц цемента. Чем меньше размер частиц и больше их количество, тем создаются более благоприятные условия для формирования бездефектных структурных агрегатов – «кластеров», а также «кластеров», в которых частицы цемента служат «подложкой», на которую за счет диффузии оседают продукты гидратации цемента [8]. В результате получается более плотная и прочная структура цементного камня. Также следует отметить, что чем меньше размер частиц цемента и больше их количество, тем больше реакций гидратации цемента с водой, больше продуктов гидратации цемента, больше кристаллизационных связей в образующемся кристаллическом сростке и, соответственно, получается более плотная и прочная кристаллизационная структура затвердевшего

цементного камня. Это способствует повышению прочности прессованных дорожных изделий [9]. Естественные условия твердения по сравнению с тепловлажностной обработкой более благоприятны для прессованных дорожных изделий. Это связано с более благоприятными условиями для протекания реакций гидратации цемента с образованием большего количества продуктов гидратации, а также для формирования менее дефектной структуры цементного камня и прессованного материала за счет отсутствия тепломассообмена с окружающей средой [10].

Таблица № 5

Физико-механические свойства прессованных дорожных изделий

№ п/п	Серия образцов	Маркировка	После ТВО и 27 суток естественного твердения			После 28 суток естественного твердения		
			Средняя плотность, ρ_o , кг/м ³	Прочность при сжатии, R_b , МПа	Водопоглощение по массе, W_m , %	Средняя плотность, ρ_o , кг/м ³	Прочность при сжатии, R_b , МПа	Водопоглощение по массе, W_m , %
1	I	I-1-1	2091	7,38	8,6	2195	7,40	8,5
		I-1-2	2135	7,80	7,9	2220	7,50	7,8
		I-1-3	2173	8,60	7,7	2240	8,60	7,6
		I-2-1	2154	13,17	8,1	2210	15,80	8,0
		I-2-2	2172	14,18	7,6	2230	17,40	7,5
		I-2-3	2186	14,90	7,1	2260	18,22	7,0
		I-3-1	2171	18,82	7,0	2235	26,20	6,9
		I-3-2	2208	20,50	6,8	2255	30,10	6,7
		I-3-3	2240	20,98	6,3	2295	31,93	6,2
2	II	II-1-1	2147	10,00	7,0	2210	12,71	6,9
		II-1-2	2166	11,10	6,6	2260	16,50	6,5
		II-1-3	2175	12,20	6,0	2315	20,67	5,9
		II-2-1	2166	17,93	6,6	2250	27,06	6,5
		II-2-2	2200	20,35	6,0	2290	29,83	5,9
		II-2-3	2234	21,38	5,7	2330	31,26	5,6
		II-3-1	2175	23,13	6,3	2275	36,00	6,2
		II-3-2	2220	28,23	5,6	2315	43,10	5,5
		II-3-3	2240	29,50	5,4	2355	46,17	5,3

Примечание: * - в маркировке первая цифра обозначает номер состава, вторая – уровень расхода цемента, а третья – уровень давления прессования.

Правильное назначение рецептурно-технологических факторов позволяет направленно управлять структурообразованием и физико-механическими свойствами прессованных мелкоштучных дорожных изделий. Умелое сочетание разных рецептурных и технологических факторов в комплексе дает возможность получать изделия с необходимыми нормируемыми свойствами.

Литература

1. M. Safiuddin, M.Z. Jumaat, M.A. Salam, M.S. Islam, R. Hashim. Utilization of solid wastes in construction materials. International Journal of the Physical Sciences. 2010. №10. pp. 1952-1963.
2. Berge B. The Ecology of Building Materials. [Architectural press]. Oxford, 2005. 474 p.
3. Р.Я. Попильский, Ф.В. Кондрашов. Прессование керамических порошков. – М.: Изд-во «Металлургия», 1968. 272 с.
4. Наумов А.А. Повышение качества кирпича полусухого прессования, изготовленного на основе глинистого сырья месторождения «Кагальник-3»//Инженерный вестник Дона, 2016, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3823/.
5. Мальцева И.В. Влияние глинистого вещества на реологию пеномасс с различной концентрацией твердой фазы// Инженерный вестник Дона, 2017, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3977/.
6. В.Н. Выровой. Физико-механические особенности структурообразования композиционных строительных материалов: Дис. ...д-ра техн. наук. Одесса, 1987. 340 с.

7. Е.И. Шмитько, С.В. Черкасов. Влияние влажностного фактора на раннее структурообразование строительных изделий на основе минеральных вяжущих веществ. – Воронеж, 1997. 23 с.
8. П.П. Будников, А.М. Гинстлинг. Реакции в смесях твердых веществ.- М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. 476 с.
9. В.Н. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. – К.: Будивэльник, 1991. 144 с.
10. Кудинов А.А. Тепломассообмен. – М.: Инфра-М, 2012. 375 с.

References

1. M. Safiuddin, M.Z. Jumaat, M.A. Salam, M.S. Islam, R. Hashim. Utilization of solid wastes in construction materials. International Journal of the Physical Sciences. 2010. №10. pp. 1952-1963.
 2. Berge B. The Ecology of Building Materials. [Architectural press]. Oxford, 2005. 474 p.
 3. Popil'skij R.Ja., Kondrashev F.V. Pressovanie keramicheskikh poroshkov. [Pressing of ceramic powders]. Izd-vo: «Metallurgija», 1968. 272 p.
 4. Naumov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3823/.
 5. Mal'ceva I.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3977/.
 6. V.N. Vyrovoy. Fiziko-mekhanicheskie osobennosti strukturoobrazovaniya kompozicionnyh stroitel'nyh materialov [Physical-mechanical peculiarities of structure formation of composite building materials]: Dis. ...d-ra tekhn. nauk. 1987. 340 p.
 7. E.I. SHmit'ko, S.V. CHERkasov. Vliyanie vlazhnostnogo faktora na rannee strukturoobrazovanie stroitel'nyh izdelij na osnove mineral'nyh
-



- vyazhushchih veshchestv. [The influence of the humidity factor on early structure formation of building products based on mineral binders]. Voronezh, 1997. 23 p.
8. P.P. Budnikov, A.M. Ginstling. Reakcii v smesyah tverdyh veshchestv. [Reactions in mixtures of solid substances]. Izd-vo literatury po stroitel'stvu, 1965. 476 p.
9. V.N. Solomatov, V.N. Vyrovoy, V.S. Dorofeev, A.V. Sirenko. Kompozicionnye stroitel'nye materialy i konstrukcii ponizhennoj materialoemkosti. [Composite building materials and design, reduced materials consumption]. Budivel'nik, 1991. 144 p.
10. Kudinov A.A. Teplomassoobmen. [Heat and mass transfer]. M.:Infra-M, 2012. 375 p.