

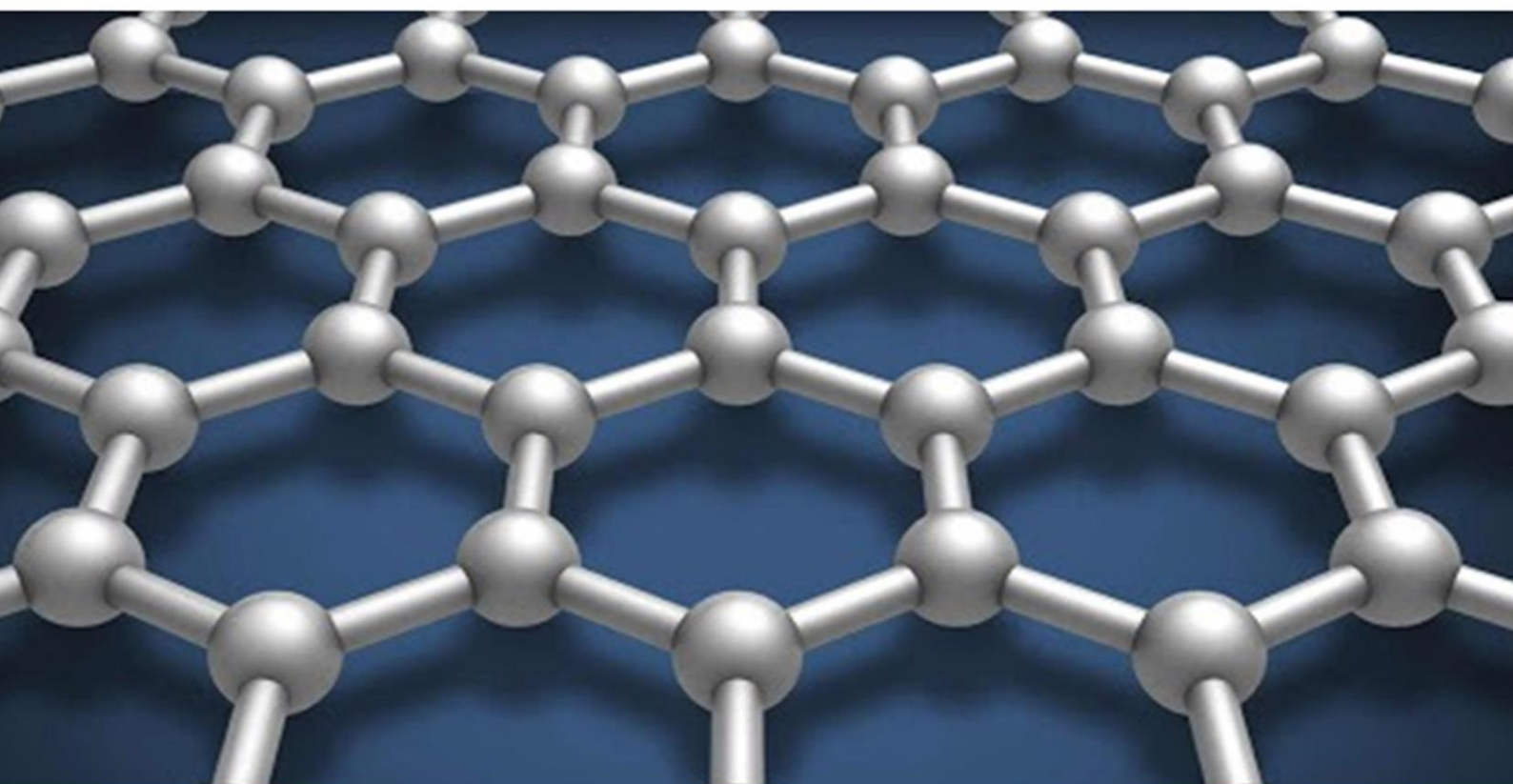
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТОГО СЛАНЦА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПУЦЦОЛАНОВУЮ АКТИВНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Кабулова Лола Балтамураевна¹, Оразимбетова Гулистан Жакселиковна²

¹Нукусский государственный педагогический институт

²Андижанский государственный технический институт

Аннотация. В статье рассмотрены комплексные исследования образцов и деталей машин, проанализированы химический состав, механические свойства и микроструктуры различных марок углеродистых (20, 30, 35) и легированных (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ) сталей, сплавов и чугунов, изучены технологические процессы поверхностных покрытий металлических образцов. Доказано, что термическая обработка с двойной фазовой перекристаллизацией повышает твердость и износостойкость деталей в 3-4 раза выше, чем серийных изделий.

Ключевые слова: портландцемент, глинистый сланец, пуццолановая активность, прочность при сжатии, сроки схватывания, индекс активности прочности.

Введение. Снижение расхода клинкера – одна из приоритетных задач цементной промышленности, направленная на уменьшение энергозатрат и выбросов CO₂ (до 0,8-1 т CO₂ на 1 т клинкера). Частичная замена клинкера активными минеральными добавками пуццоланического типа (до 20-35 %) позволяет решить эту проблему без значительной потери качества [1].

Природные глинистые сланцы после механоактивации (совместный помол) или термообработки приобретают выраженные пуццолановые свойства благодаря аморфизации структуры и повышению реакционной способности SiO₂ и Al₂O₃ [2]. Глинистые сланцы Джамансайского месторождения представляют собой доступное местное сырьё Каракалпакстана с высоким содержанием кремнезёма и глинозёма. Цель настоящей работы – комплексное исследование влияния этой добавки на физико-механические свойства и пуццолановую активность композиционных портландцементов.

Пуццолановая реакция протекает между активным аморфным кремнезёмом (SiO₂) и глинозёмом (Al₂O₃) добавки и гидроксидом кальция Ca(OH)₂, образующимся при гидратации алита C₃S и белита C₂S. Продуктами реакции являются дополнительный гидросиликат кальция C-S-H и гидроалюминаты кальция, уплотняющие микроструктуру и повышающие коррозионную стойкость цементного камня [3].

Объекты и методика исследования. Использовали портландцементный клинкер ООО «Каракалпакцемент». Химический состав клинкера, мас. %: SiO₂ – 20,42; Al₂O₃ – 5,20; Fe₂O₃ – 5,52; CaO – 62,87; MgO – 2,61. Природный глинистый сланец имеет состав, мас. %: SiO₂ – 49,56; Al₂O₃ – 20,73; Fe₂O₃ – 7,18.

Контрольным образцом служил портландцемент без добавки, приготовленный в тех же условиях помола. Тонкость помола

контролировали по остатку на сите №008 (не более 4-5 % для всех составов). Удельную поверхность определяли методом воздухопроницаемости по ГОСТ 310.2-76. Для оценки пуццолановой активности использовали индекс активности прочности I_a – отношение прочности состава с добавкой к прочности контрольного состава в возрасте 28 суток (I_a ≥ 75 % соответствует активной добавке) [4].

Образцы готовили совместным помолом. Составы включали клинкер, 5 % гипса и сланец в количестве 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 40 % от массы вяжущего. Нормальную плотность, сроки схватывания определяли по ГОСТ 310.2-76 и ГОСТ 310.3-76. Прочность при изгибе и сжатии образцов 4×4×16 см в возрасте 1, 3 и 28 суток испытывали по ГОСТ 310.4-81. Индекс активности прочности рассчитывали по ГОСТ 25094-82 [4].

Результаты и их обсуждение. С увеличением содержания глинистого сланца до 40 % нормальная плотность цементного теста закономерно повышается с 22,8 % до 33,8 % (табл. 1). Это обусловлено высокой удельной поверхностью и развитой пористостью глинистых частиц, которые адсорбируют дополнительное количество воды затворения. Кроме того, пластинчатая морфология частиц сланца увеличивает внутреннее трение в цементном тесте, что также требует большего количества воды для достижения стандартной консистенции.

Удельная поверхность композиционных цементов варьируется в пределах 300-345 м²/кг. Немонотонный характер зависимости объясняется различиями в твёрдости компонентов: при малых добавках (5-10 %) более мягкий сланец не увеличивает общую эффективность измельчения; при 20 % и выше жёсткие кварцевые зёрна сланца выступают в роли микро-мелющих тел, способствуя дополнительному истиранию клинкерных зёрен. При 40 % добавки повышение удельной

поверхности (до 344,96 м²/кг) сопровождается некоторой агломерацией частиц, что выражается в росте остатка на сите №008 (с 3,2 % до 3,9 %).

С ростом дозировки сланца удлиняются сроки схватывания: начало увеличивается с 62 мин до 167 мин, конец с 82 мин до 198 мин. Удлинение сроков схватывания при повышении дозировки сланца характерно для природных пуццоланов [2]. Оно обусловлено двумя факторами: разбавлением быстротвердеющих

клинкерных минералов (особенно C_3S) и адсорбцией воды и Ca^{2+} -ионов на поверхности тонкодисперсных частиц сланца, что временно замедляет образование зародышей C-S-H. Тем не менее для всех исследованных составов сроки схватывания остаются в пределах, допустимых стандартами (начало схватывания не ранее 45 мин).

Содержание свободного $CaO_{св}$ во всех составах не превышает 1,12 %, что исключает риск неравномерности изменения объема.

Таблица 1.

Свойства композиционных цементов

Состав	Прочность при сжатии, МПа			Норм. густота, %	Остаток на сите №008, %	Сроки схватывания, мин	
	1 сут	3 сут	28 сут			начало	конец
Контрольный ПЦ (бездобавочный)	15,6	28,6	62,4	22,2	5,1	96	114
+5 % ГС	19,4	29,6	54,7	24,6	4,8	100	120
+10 % ГС	17,3	30,3	52,3	26,8	3,4	103	123
+15 % ГС	15,0	29,2	48,6	28,2	3,8	140	165
+20 % ГС	13,9	27,2	45,7	28,4	3,3	145	170
+25 % ГС	12,9	24,0	38,7	30,0	4,0	150	177
+30 % ГС	12,5	23,0	36,0	32,0	3,2	150	178
+40 % ГС	10,3	18,6	30,2	33,8	3,9	167	198

В ранние сроки (1-3 сут) прочность снижается пропорционально содержанию сланца (эффект разбавления) [5]. К 28 суткам наблюдается компенсация и даже превышение прочности при малых добавках благодаря пуццолановой реакции: активный SiO_2 и Al_2O_3 сланца реагируют с $Ca(OH)_2$, выделяющимся при гидратации клинкера, с образованием дополнительных низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция (C-S-H, C-A-S-H). Это уплотняет структуру цементного камня и повышает долговечность [3, 6].

Максимальная прочность 54,7 МПа (индекс 87,7 %) достигнута при 5 % ГС. При 20 % ГС достигается 45,7 МПа (марка 400, индекс 73,2 %). При содержании добавки 25 % и более прочность заметно снижается, что типично для природных пуццоланов без термоактивации [2].

Индекс активности прочности I_a закономерно снижается с 87,7 % (5 % сланца) до

48,4 % (40 % сланца). По классификации ГОСТ 25094-82 активной считается добавка с $I_a \geq 75$ %. Таким образом, при 5-10 % добавки сланец квалифицируется как активный пуццолан, при 15-20 % - как умеренно активный. Оптимальным с точки зрения баланса между прочностью (марка 400), экономией клинкера (20 % замены) и приемлемыми сроками схватывания следует считать состав с 20 % глинистого сланца.

Вывод. Природный глинистый сланец Джамансайского месторождения после совместного помола с клинкером проявляет умеренную пуццолановую активность. Максимальная прочность (54,7 МПа) достигнута при 5 % добавки. Оптимальным с точки зрения прочности, сроков схватывания и экономической эффективности признан состав с 20 % сланца (прочность 45,7 МПа, индекс активности 73,2 %, марка 400). Добавка может быть рекомендована для производства низкоклинкерных композиционных цементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low- CO_2 cement-based materials industry // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 114. P. 2–26. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.03.015.
2. Tole I., et al. Enhancement of the pozzolanic activity of natural clays by mechanochemical activation // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 352. 128970. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128970.
3. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41, No. 12. P. 1244–1256. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.12.001.
4. ГОСТ 25094-82. Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1982.
5. Амиралиев Б., и др. Тепловая обработка глинистых сланцев и их использование в качестве активных минеральных добавок в композиционных цементах // Journal of Composites Science. 2025. Vol. 9, No. 6. 269. DOI: 10.3390/jcs9060269.
6. Neville A.M. Properties of concrete. – 5th ed. – Harlow: Pearson, 2011. – 846 p. ISBN: 9780273755807.

ОКТАБРЬ

№ 3(108)

2026

СОДЕРЖАНИЕ

1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокмпозитов

Негматов С.С., Юлдашев Н.Б., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Исмаилов Р.И., Мусабеков Д.Х., Рахимов Х.Ю. Экспериментальное исследование процесса обезвреживания отработанного масла с применением деэмульгатора «КХД-М-1».....	3
Абед Н.С., Негматов С.С., Бухаров С.Н., Сергиенко В.П., Туляганова В.С., Сохобиддинова Ф.Ж., Эшкobilов О.Х., Джабаров Б.Т., Шамсиева С.С. Научно-технологические принципы создания и применения антиэлектростатических полимерных композитов и покрытий	6
Kucharov A.A., Yusupov F.M., Qurbonov A.R., Xalilov S.U., Toshboboyeva R.A. Sirt faol moddalarning ko'mirni boyitishdagi kolloid-kimyoviy mexanizmlari	11
Sayimova D.Q., Amonov M.R., Ramazonova Z.Y. Sorbentning sorbsion xossasiga kislotalik muhiti va sirt g'ovaklik o'lchamlarini ta'siri	16
Азизова Х.М., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И. Равновесные и кинетические характеристики сорбции меди(II) гранулированным амидоксимным ионитом	19
Umarova S.R., Ibragimova K.S., Xusenov A.Sh., Kiyamova M.I., Raxmanberdiev G. Monokarboksilinulinning sintezi va fizik-kimyoviy xossalari o'rganish	22
Berdiqulov B.Sh., Ixtiyarova G.A., Safarov A.R. Kaolin va Apis mellifera xitozan asosidagi kompozit biosorbentni sintez qilish va dastlabki tavsiflash	26
Abdurazakov S.E., Maksumova O.S., Fozilova U.J. Metakril kislotasi asosida antipiren sintezi	30
Негматов С.С., Юлдашев Н.Б., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Мусабеков Д.Х., Рахимов Х.Ю., Исмаилов Р.И. Методики определения физико-химических свойств отработанного масла после обработки композиционным деэмульгатором.....	33

2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

Негматов С.С. Теоретические основы контактного взаимодействия антифрикционных композиционных полимерных материалов машиностроительного назначения с хлопком-сырцом	36
Тухтаев Ф.С., Мусоева Д.Н., Мардонова М.З., Махмудова М.М., Негматов С.С. Исследование физико-механических свойств полимер-полимерных композиционных материалов, наполненных минеральными ингредиентами	41
Каримов Ш.А., Алимбабаева З.Л. Темир кукуни асосли юкори ғовакли материал олиш ва унинг хossalari	44
Yusupova S.Yu., Kamalova D.I. Polipropilen grafit kompozitlarining tuzilishi va mexanik xossalari grafit miqdorining ta'siri	46
Djabarov B.T. Elektrotexnika sanoati uchun polimer kompozit materiallarning elektrofizik xususiyatlari va ularni boshqarish usullari tadqiqoti	49
Кабулова Л.Б., Оразимбетова Г.Ж. Влияние глинистого сланца на физико-механические свойства и пуццолановую активность композиционного портландцемента	51
Тилабов Б.К. Анализ состава, свойств и структуры сталей, чугунов и сплавов и их термическая обработка	53
Axmedova M.F., Ubaydullayeva D.H. Ko'p davrli cho'zilish deformatsiyasini baholash metodikasini takomillashtirish	57
Arabov J.S., Matismailov S.L., Urmanov N.T., Islomova M.S., Ergashova J.J. Qutblangan elektr maydonida sintetik tolalarni emulsiyalashning fizik asoslarini tadqiq etish	59
Karimov K.A., Shaxobutdinov R.E., Karimova A.R., Xo'jamov A. Zoldir prokatlash valogi rebordalariga 35V9X3CF markali kukunli sim qoplama qoplash orqali ish unumdorligini oshirish istiqbollari	63
Абдурахимова М.И., Тухташева М.Н., Сапаров Б.Ж., Рахимов М.Ю. Оптимизация технологических параметров и исследование механических свойств композиционного покрытия ADC12/SiC для поверхностей корпуса редуктора	66