

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Л. П. ПАПКОВА, Х. О. ГЕВОРКЯН, О. П. МЧЕДЛОВ-ПЕТРОСЯН

О ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛАХ НЕКОТОРЫХ ДРЕВНИХ  
 СООРУЖЕНИЙ АРМЕНИИ

Предметом исследования были пробы вяжущих материалов, отобранные из различных древних сооружений Армении (табл. 1), изучение их физико-механических, физико-химических свойств и фазового состава.

Таблица 1

№№ проб	Место отбора пробы	Время укладки раствора	Примечание
1	Кладка стен церкви Погоса-Петроса в Ереване	V—VI в.	
2	Кладка стен Ереванской 3-х нефной базилики. В 4-х км от ж.-д. ст. Ани возле посёлка Анипезма (бывшая багратидская столица)	V в.	В настоящее время—руины
3	Кладка стен Карнутской (Диракларской) однонефной церкви. В 8-ми км от г. Лениакана в с. Карнут	IV—V в.	руины
4	Кладка стен Аванского кафедрального однонефного собора в с. Аван в 6-ти км от Еревана	590—609 гг.	
5	Кладка стен церкви Катухки в Ереване	XIII в.	
6	Кладка стен Двинского кафедрального купольного собора в городище Двин (древняя столица Армении)	608—615 гг.	
7	Кладка стен купольного собора в с. Пггни Котайского района в 18 км от Еревана	VI в.	Полуразрушенное сооружение
8	Кладка стен Большого Талинского храма (купольная базилика)	VII в.	По конструкции близок Двинскому собору, но сохранился несколько лучше

Основным строительным материалом при возведении обследованных сооружений был камень, причем приемы древних строителей представляют определенный интерес для истории инженерного дела. В церковных сооружениях Армении был применен, новый для того времени, способ кладки стен, не из пригнанных блоков, а из двух

параллельных рядов камней, пространство между которыми заполнено известковым бетоном. В дальнейшем, при развитии строительной техники, камень становится облицовкой и при постройке является своеобразной опалубкой, куда забрасывают щебень, заливаемый известковым раствором. Исследованию подвергался раствор каменной кладки древних сооружений, относящихся к IV—XIII векам.

В табл. 2 приведено макроописание испытываемых проб.

Таблица 2

№№ проб	Описание внешнего вида проб строительных растворов
1	Карбонатная масса с многочисленными включениями песчаниковой гальки, туфогенных и эффузивных пород, обломков известняка и известкового песчаника. Соотношение вяжущего к заполнителю 2:3.
2	Заполнитель-известняк мраморовидный неравномерно мелкозернистый и органогенный оолитовый, частично перекристаллизовавшийся, и пемза. Связка—кальцитная и глинисто-карбонатная. Соотношение вяжущего к заполнителю 1:1.
3	Известковый бетон, где заполнителем является морская песчаниковая галька, кварц, базальт. Связка кальцитная и глинисто-карбонатная. Соотношение вяжущего к заполнителю 1:2,5
4	Известковый бетон, где заполнителем является пемза, вспученный вулканический шлак и обломки карбонатных пород неорганического и органического происхождения (ракушечник, известняк и т. д.). Соотношение вяжущего к заполнителю 1:1.
5	Известковый бетон, где заполнитель в основном представлен туфогенными породами, пемзой. Связка—карбонизировавшаяся известь. Соотношение вяжущего к заполнителю 1:3.
6	Известковый бетон с добавкой гипса и с примесями древесного угля. Связка—глинисто-карбонатная. Соотношение вяжущего к заполнителю 1:1.
7	Карбонатная масса с многочисленными включениями туфогенных пород, кварца. Соотношение вяжущего к заполнителю 1:2,5.
8	Известковый бетон, где заполнителем в основном являются туфы, черный вспученный шлак вулканического происхождения, кварцевый песок. Соотношение вяжущего к заполнителю 1:1.

Как видно из табл. 2 испытываемые пробы относятся к известковым растворам с различными местными заполнителями, в том числе туфогенными эффузивными, пемзами и др. Результаты некоторых физико-механических испытаний представлены в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что пористость исследованных проб находится в пределах от 27,6 до 52,8%, объемный вес от 1,1 до 1,7 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение от 17,2 до 45,1%, т. е. долговечные известковые растворы представляют собой сравнительно легкие довольно пористые материалы, макротвердость которых для большинства растворов по шкале Мооса равна 3. Микротвердость вяжущего, заполнителя и контакта между ними различна. Часто микротвердость контакта превышает микротвердость заполнителя либо занимает среднее положение, между твердостью вяжущего и заполнителя, что свидетельствует о большей

Таблица 3

№№ проб	Водопоглощение в процентах	Объемный вес $g/cm^3$	Пористость в процентах	Макротвердость по шкале Мооса	Микротвердость $kg/mm^2$			Примечание
					связка	заполнитель	контакт	
1	27,5	1,43	39,1	3	119	254	309	Микротвердость определялась на контакте между связкой и заполнителем на приборе ПМТ-3
2	45,1	1,1	49,4	3,5	88	135	110	
3	21,0	1,6	33,5	3	Средняя микротвердость = 181			
4	32,0	1,4	44,7	3	116	170	236	
5	43,3	1,2	51,8	2,5	74	143	—	
6	36,5	1,2	43,8	3	Средняя микротвердость = 160			
7	17,2	1,6	27,6	3	—	—	—	
8	18,5	1,7	31,6	3	Средняя микротвердость = 88			

по сравнению с вяжущим прочности реакционного слоя, образовавшегося в течение длительного времени на контакте заполнителя с вяжущим.

Результаты химического анализа исследованных проб приведены в табл. 4.

Таблица 4

№№ проб	Химический состав, в процентах										
	SiO <sub>2</sub> раст.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нераств. остаток	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	п.п.п.	сумма
1	9,85	1,48	6,22	39,34	21,27	1,14	0,67	0,11	1,61	17,98	99,67
2	10,80	1,08	6,77	31,42	23,32	1,63	0,61	0,53	0,89	22,22	99,27
3	9,25	1,64	5,86	47,26	16,81	1,05	0,86	0,42	0,31	15,98	99,44
4	6,30	2,40	5,86	40,50	22,09	2,42	0,55	0,25	0,20	18,82	99,33
5	8,40	2,38	6,29	35,56	23,29	1,47	—	—	0,27	20,66	98,30
6	4,41	1,68	3,82	18,44	27,57	2,68	0,40	0,32	29,57	11,16	100,04
7	17,85	3,12	7,33	22,00	23,05	2,82	0,47	0,27	0,85	21,18	99,85
8	2,25	0,92	2,43	77,92	6,86	0,61	0,16	0,05	0,17	8,56	99,83

Результаты дифференциального термографического анализа свидетельствуют: о наличии во всех пробах гигроскопической влаги и гидратных форм аморфного кремнезема (эндозффекты при 150—170°); присутствии небольших количеств карбоалюминатов либо гидрогранатов (эндозффекты при 300—400°); удалении влаги из гидросиликатов (эндозффекты при ~720°); наличии большого количества карбонатов (эндозффекты при 750—840°). Полученные дифференциальные термограммы во многих случаях показывают наличие большого количества гипса (эндозффект при 150°) и угля (эндозффект при 450°).

Сопоставление данных химико-петрографических и термографических исследований позволяет предположить исходный состав испытуемых вяжущих материалов представленный в табл. 5.

Данные табл. 5 подтверждают сравнительное разнообразие вяжущих растворов на протяжении девяти столетий. Однако близки

Таблица 5

№№ проб	Соотноше- ние весовых частей		С о с т а в:	
	вяжу- щего	запол- ни- теля	вяжущего	заполнителя
1	1	3,5	известь	Песчаниковая галька, туфогенные и эффузивные породы, обломки известняка и известковистого песчаника
2	1	2,1	слабо гидравлическая известь	Известняк частично мраморовидный
3	1	3,8	то же	Песчаниковая галька, кварцев. песок, базальт.
4	1	2,2	известь	Пемза, вспученная, вулканический шлак, обломки карбонатных пород
5	1	4	то же	Туфогенные породы, пемза
6	1	2,15	Слабогидравлическая известь и гипс	Пемза, слабообожженная глина, древесный уголь, двухводный гипс
7	1	3,9	Известь	Туфогенные породы, кварцевый песок
8	1	2,12	то же	Туфы, вспученный вулканический шлак, кварцевый песок.

между собой по соотношению в исходном растворе вяжущего и заполнителя составы VII-го века (пробы 4, 6, 8), причем пробы 6 и 8 соответствуют сооружениям, близким по своей архитектуре, но построенных в начале VII века (Двин) и в конце VII века (Талин).

Таблица 6

№№ проб	pH	Примечание
1	8,71	Определения проводились при 25°C.
2	8,9	
3	8,47	
4	8,75	
5	8,82	
6	7,9	
7	8,0	
8	8,27	

В табл. 6 даны результаты определения pH для водных вытяжек испытуемых проб. Содержание pH определялось на приборе ЛП-58. Вытяжки готовились по методике Б. Г. Скрамтаева.

Данные табл. 6 указывают на достаточно глубоко прошедшую карбонизацию строительного раствора. Таким образом, физико-механические,

химико-петрографические, физико-химические, и в том числе термографические исследования позволяют утверждать, что известковые растворы с местными туфогенными и эффузивными заполнителями, являющиеся оригинальными и различными по своей рецептуре, упогреблялись в древней Армении, начиная с IV в. и выдержали многовековые испытания.

Причем, процессы, происходившие в этих вяжущих за период их службы, приводили к образованию значительного количества карбонатов (см. табл. 4), и новообразований типа гидросиликатов кальция и опала (см. табл.). Высокая стойкость и весьма совершен-

ная гомогенность испытуемых проб объясняется, главным образом, чисто технологическими причинами: правильным соотношением компонентов и уплотнением удачно подобранных составов с использованием таких местных материалов как пемза и туфы, которые вступали во взаимодействие с вяжущим, давая на контакте реакционные каймы, обеспечивающие определенную прочность этих материалов. Реакционные каймы, таким образом явились как бы носителями прочности и долговечности известкового раствора. Характерно, что в пробах большого возраста эти каймы, очень часто, имеют и больший размер. Атмосферостойкость исследованных материалов определяется не только физико-химическими свойствами новообразований и кинетикой процессов твердения, но также и их структурой (см. табл. 3).

Многовековое химическое взаимодействие известки с местными пуццоланами, в том числе туфами, пемзами, а также и с базальтом подтверждает целесообразность широкого их применения для повышения долговечности строительных растворов.

Многоплановые (физико-механическое, физико-химическое, петрографическое, термографическое) исследования некоторых древних строительных растворов Армении позволяют предположить причины их долговечности и их исходные составы. Установлено наличие новообразований на контакте связка—заполнитель и впервые проверены экспериментально значения микротвердости этих новообразований, причем величина микротвердости контакта оказалась больше самой связки, а в некоторых пробах превысила микротвердость заполнителя. Основной причиной долговечности являются удачно подобранные рецептуры строительных растворов, которые в результате процессов многовековой карбонизации и реакций на границе заполнитель—связка обеспечили высокую атмосферостойкость исследованных материалов.

Поступило 23.VII 1963 г.

Լ. Պ. ՊԱՊԱՆՈՒԱ, Խ. Հ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Ս. Պ. ՄՇԵԿՆԱՎ-ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԻՆ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾ ՔԵՆԵՐԻ ԿԱՊԱԿՑՈՂ ԵՅՈՒԹԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո ի մ

Աշխատանքը նվիրված է Հայաստանի հին շինարարական նյութերի հետազոտությանը:

Կատարված է էքսպերիմենտալ հետազոտություն շաղախների, որոնց նմուշները վերցված են Հայաստանի հետևյալ հին կառուցվածքներից.

1. Պողոս-Պետրոս եկեղեցի — (V—VI դար)
2. Նրերուլքի բազիլիկա (Անի) — (V դար)
3. Կարնութի եկեղեցի — (IV—V դար)

4. Ավանի մալը տաճար — (VI—VII դար)
5. Կաթուղիկն եկեղեցի (Երևան) — (XIII դար)
6. Դվինի մալը տաճար — (VII դար)
7. Պտղնիի տաճար — (VI դար)
8. Թալինի մեծ տաճար — (VII դար)

Կատարված քիմիական, պեարոգրաֆիական, թևումոգրաֆիական և ֆիզիկա-մեխանիկական հետազոտությունները ցույց են տվել հետևյալը.

ա) Հետազոտված շինարարական նյութերը ներկայացնում են շաղախներ, որոնց մեջ կապակցող նյութը հանդիսանում է օղալին կիրը կամ թուլ հիդրավիկ կիրը, իսկ որպես լցանյութ օդտաղործված են պեմզան, հրաբխալին շաղիք, տուֆը, կարրոնատալին ապտաները, կվարցալին ավազը և այլն:

բ) Փորձարկված շաղախների ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները բնորոշվում են հետևյալ մեծություններով՝ ծակոսկենությունը 27,6—52,8<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, ծավալալին կշիռը 1,1—1,7 գ/սմ<sup>3</sup>, միկրոկարծրությունը = 3 և ջրահագեցումը 17,2—45,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>:

գ) Ամբաջած շաղախների կազմության մեջ պարունակվում են մեծ քանակով կարրոնատներ և ավելի փոքր չափով սիլիկահողի հիդրատներ, տարբեր հիդրոսիլիկատալին միացություններ, ինչպես նաև գիպսալին և անխալին մասնիկներ:

դ) Միկրո-կարծրության չափմանը եզանակով ցույց է տրված, որ այդ շաղախներում առանձնապես բարձր ամրություն ունի կապակցող նյութի և լցանյութի միջև ժամանակի ընթացքում առաջացած սեղանցիկ շերտը:

ե) Հետազոտված շաղախների ամրությունը և բարձր երկարակեցությունը բացատրվում է նրանց կազմության մեջ բարձր հիդրավիկ ակտիվության հրաբխալին նյութերի ներկայությունով:

զ) Հաստատվում է ժամանակակից շաղախների երկարակեցության նպատակով նրանց կազմության մեջ հրաբխալին նյութերի գործադրության նպատակահարմարությունը: