

ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЯ

В. А. Степанян

Исследование нормального сцепления раствора с камнем

(Представлено А. Г. Назаровым 4 III 1948)

Известные нам экспериментальные исследования по сцеплению раствора со штучным элементом кладки относятся, в основном, к кирпичной кладке и преимущественно к случаю горизонтального расположения шва. Таковы работы Ал. Конорова⁽¹⁾, Н. А. Попова⁽²⁾, Л. И. Онищика⁽³⁾, Feret⁽⁴⁾, Trainor⁽⁵⁾, Palmer and Parsons⁽⁶⁾ и др.

В связи с вопросами сейсмостойкости каменной кладки, небольшое количество экспериментов по сцеплению раствора с арктиским туфом осуществлено А. Л. Чураяном⁽⁷⁾.

Суждения исследователей относительно сцепления раствора с камнем (кирпичом) в вертикальных швах носят либо умозрительный характер, либо же основываются на косвенных экспериментальных данных^(2,5,6). Господствует мнение, что в кладке, вследствие усадки раствора, сцепление в вертикальном шве значительно ослабляется или даже нарушается, потому и в расчетах его не рекомендуют учитывать. В горизонтальных же швах при усадке раствора в процессе его твердения, происходит непрерывная осадка кладки, потому сцепление в швах не нарушается, а непрерывно нарастает⁽⁸⁾.

Мнения различных исследователей расходятся в вопросе влияния влажности камня и консистенции раствора на величину сцепления. Нами осуществлено экспериментальное изучение сцепления раствора с пятью видами наиболее распространенных на строительстве Армянской ССР камней (вулканический туф, арктическая туфовая лава, фельзитовый туф, базальт и гранит) с целью установления зависимости нормального сцепления от породы камня, от способа выполнения, толщины и расположения шва, режима твердения, обработки поверхности камня, консистенции и состава раствора и, наконец, от объемных изменений раствора.

Для проведения указанных экспериментов автором разработана методика и сконструированы специальные приспособления, позволяющие производить исследования прочности нормального сцепления и деформации раствора в образце, с момента заполнения шва. Описание

и анализ исследования будут опубликованы в другом месте. Здесь же приводим только общие выводы.

1. Ведущими факторами нормального сцепления раствора с камнем являются физико-механические, химические и структурные свойства штучного камня и раствора, рассматриваемые в их взаимной связи.

2. Молекулярные взаимодействия в сечении контакта, между твердой фазой штучного элемента—камня и жидкой фазой раствора, в виде адсорбционных сил, сопровождаемых химическими процессами схватывания, совместно со свойством высокой ползучести раствора до раннего периода затвердения являются основными факторами, обеспечивающими сцепление раствора с камнем в вертикальном шве.

3. Вакуум, могущий возникнуть в растворе, является вспомогательным фактором, способствующим обеспечению сцепления в вертикальном шве до раннего периода затвердевания.

4. Прочность сцепления раствора с камнем, обусловленная в раннем возрасте вышеуказанными факторами (п. п. 1, 2, 3) со временем возрастает в основном вследствие химических процессов в сечении контакта между вяжущим раствора с кремнеземом и глиноземом, содержащимися в большом количестве в естественных камнях (базальт, гранит, арктическая туфовая лава, вулканический туф и др.). Срастаясь в сечении контакта, химические новообразования связывают штучные элементы кладки с раствором, благодаря чему кладка превращается в монолит.

5. Сцепление раствора с камнем не находится в какой либо прямой зависимости от объемного веса и пористости штучного элемента.

6. Консистенция раствора является одним из важнейших факторов сцепления раствора с камнем. Оптимальная консистенция зависит, в основном, от структурных свойств камня и, первым делом, от интенсивности его водопоглощения.

При наличии высокой интенсивности водопоглощения, для обеспечения первоначального сцепления величина оптимального вяжущеводного фактора может превышать более чем на 100% таковую, необходимую для получения наибольшей механической прочности раствора на сжатие или на растяжение. Для вертикальных швов при наличии штучного элемента с высокой интенсивностью водопоглощения, необходимо переходить на заполнение шва раствором под заливку (погружение конуса СтройЦНИЛ'а на 13 см и более).

7. Наличие большого количества воды в растворе придает последнему меньшую вязкость и делает его более подвижным в момент укладки, и тем самым сила первоначального сцепления между частицами камня и раствора получается большей величины, чем внутреннее сцепление между частицами самого раствора. Этим обеспечивается движение раствора от середины к поверхностям контакта. При этом, благодаря быстро развивающейся абсорбции, вместе с жидкой фазой раствора вовлекаются в поры и углубления в камня также и частицы вяжущего, которые, заполняя все шероховатости поверхности камня, срастаются

с ним и создают естественный зубчатый контакт, площадь сцепления которого намного превышает площадь контакта по геометрическим размерам. Приставший к поверхности камня первый слой раствора уплотняясь силами адсорбции, сам превращается в капиллярную систему и привлекает новый слой раствора. Этот процесс продолжается до тех пор, пока весь раствор, буквально за несколько минут, превращается в плотное тело, прижатое силами адсорбции между опорными контактами камня. Весь этот процесс сопровождается сближением камней друг к другу (при их несильном закреплении) и ползучестью раствора (при неподвижных камнях). В условиях обычной кладки оба явления имеют место одновременно.

Сопротивление сил трения, при микроперемещениях штучного элемента по основанию, небольшое, его можно выразить формулой

$$T = cfN,$$

где f — коэффициент трения при предельном равновесии, постоянный при данных условиях.

c — правильная дробь, приближающаяся к единице в момент нарушения равновесия.

8. При недостаточном количестве воды и при сильно водопоглощающих камнях, как только раствор вступает в соприкосновение с поверхностными, выступающими точками камня, возникающая адсорбция в точках соприкосновения обезвоживает слой малоподвижного, вязкого раствора, обладающего большим внутренним сцеплением, тем самым частицы раствора не успевают войти в углубления шероховатой поверхности штучного элемента (такие шероховатости имеются на поверхностях строительных камней при любом виде их обработки) эти углубления не заполняются раствором, таким образом, получается сцепление не по всей поверхности контакта, а только по выступающим точкам. Сцепление это затем легко нарушается, вследствие различия в деформациях камня и раствора, при продолжающихся объемных изменениях последнего.

9. Наиболее опасным в смысле нарушения прочности шва является усадка раствора в направлении параллельной плоскости контакта, так как при этом вследствие различия деформационных свойств раствора и штучного элемента, возможно некоторое нарастание тангенциальных напряжений, в особенности, при менее пластичных, чистых цементных растворах.

Нарастание внутренних напряжений может привести к нарушению шва в следующих случаях:

а) в случае первоначального сцепления раствора не по всей поверхности контакта, о чем подробно было изложено в п. 8;

б) при наличии низкой прочности камня или когда прочность его ослаблена воздействием раствора и первым дождем воды, для водонепостоячивых камней (например, фельзитовый туф). Нарушение шва в этом случае происходит в виде отслоения тонкого слоя камня;

в) при низкой прочности раствора, или когда раствор при данных влажностных условиях теряет прочность (например, при твердении воздушных вяжущих во влажной среде, или некоторых гидравлических вяжущих, как, например, известково-пуццелановые вяжущие при сухом режиме твердения).

Обработка поверхности камня в контакте грубой околкой, имеющее место в облицовочной кладке, имеет преимущество перед обработкой этой поверхности под чистую теску в смысле сопротивления внутренним тангенциальным напряжениям. Однако, такое преимущество имеет место только при оптимальной консистенции раствора, в особенности, для сильно водопоглощающих камней, при сухой укладке их.

Для тонких вертикальных швов получистая или чистая теска поверхности обеспечивают равномерность толщины и уплотнения шва, что положительно отражается на прочности сцепления раствора с камнем.

10. Лучшими растворами для обеспечения высокого и долговечного сцепления каменной кладки являются сложные цементно-известковые растворы, преимущество которых перед цементными растворами заключается в их большей деформативности, пластичности, а также малой усадки после раннего затвердения. По сравнению же с известковыми растворами, сложные растворы обеспечивают быстрое развитие первоначальной прочности сцепления и прочности самого раствора, необходимой для современного строительства, когда кладка возводится более высокими темпами.

Сложные растворы обладают высокими водоудерживающими свойствами по сравнению с цементными. Однако, фактор водоудерживающей способности, единодушно подчеркиваемый и другими авторами, имеет серьезное значение для горизонтальных швов, где вследствие обезвоживания на пористом штучном элементе, верхняя поверхность раствора теряет пластичность до установки вышележащего камня и, тем самым, получается низкое сцепление с вышележащим камнем и то не по всей поверхности.

11. При подборе соответствующей консистенции раствора прочность сцепления в вертикальном шве можно получить намного большей величины, чем в горизонтальном шве.

Основные причины к этому служат:

а) одновременное симметричное действие абсорбции по обеим поверхностям контакта с раствором;

б) однородность плотности вертикального шва, где менее всего влияние неравномерного уплотнения и неравномерного выравнивания (рука каменщика).

Вследствие одновременного симметричного действия капиллярного отсоса на обеих поверхностях контакта, обезвоживание раствора шва, при наличии даже сильно абсорбирующих камней, не опасно даже для слабо водоудерживающих чисто-цементных растворов. Отсасываемая из раствора вода, накапливаясь в ближайших к контакту порах камня, до ее окончательного испарения, питает раствор необходимой влагой.

дая его дальнейшей гидратации и упрочнения, пока вследствие испарения с поверхностей менисков, последние, мигрируя, доходят до контакта. За все это время, продолжающееся в зависимости от структуры камня, от 7 дней до одного месяца, уплотненный вначале укладки раствор развивает свою механическую прочность и прочность на сцепление, при отсутствии усадки, в спокойной обстановке, в условиях почти полного отсутствия внутренних напряжений.

Приобретенная за это время высокая прочность сцепления обеспечивает монолитность кладки при условии, если сцепление имеет место по всей поверхности камня. Развивающиеся после этого внутренние напряжения не могут нарушить сцепление шва.

12. Объемные изменения раствора, твердеющего в контакте с камнями, следует рассматривать совместно со штучными элементами. Характер объемных изменений раствора сильно отличается для различных камней как по величине, так и по закону их изменения во времени. В зависимости от структурных свойств камня, эти деформации во времени имеют совершенно четкую закономерность для каждой породы камня. По мере схватывания и твердения раствора сцепление его с камнем нарастает и кладка превращается в единое псевдотвердое тело, в котором при неподвижности камня ползет раствор, разряжая при этом внутренние напряжения, а при более свободно перемещающихся камнях, микроперемещения их протекают совместно с деформациями раствора. Камень следует за раствором. Процесс этот начинается с момента заливки.

13. Для камней легких пород, туфов и кирпичей, при оптимальной консистенции раствора прочность сцепления в вертикальном шве со сложными растворами марки 15—30 в месячном возрасте может даже превышать прочность сцепления между частицами самого камня или раствора. Сцепление раствора с абсорбирующими камнями очень часто превышает сцепление между частицами цементного раствора марки 80 и выше.

14. Образованный на не абсорбирующей поверхности камня (в каменной кладке) и заполнителях (в растворе и в бетоне), водяной слой, содержащий растворимую известь щелочи и др. частиц, является одной из основных причин низкой прочности сцепления, влияющей на общую механическую прочность раствора и бетонов. Удаление этой воды из раствора путем абсорбирования (капиллярным отсосом камня) или вакуумирования, до начала схватывания вяжущего, ускоряет процесс схватывания и сильно увеличивает прочность сцепления вяжущего с камнем.

Фактор этот, совместно с общим уплотнением, вследствие внутренних адсорбционных сил, сильно повышает начальную прочность сцепления и этим самым общую механическую прочность раствора и бетона.

Сцепление раствора с камнем достигает максимальной величины в том случае, когда за все время схватывания вяжущего, до начала

твердения. миграция воды направлена от раствора к камню, притом с максимальным удалением свободной и полусвязанной воды.

15. Удаленная из раствора вода в каменной кладке накапливается в порах у контакта, питая раствор необходимой влагой, поддерживает продолжение гидратации вяжущего и, следовательно, нормальный рост упрочнения раствора. Это не имеет места для абсорбированного раствора вне кладки и в вакуум-бетоне.

Рост прочности их быстро затухает при воздушном хранении вследствие интенсивного испарения и недостатка влаги для продолжения процесса гидратации вяжущего.

Наоборот, влажное хранение (в первый месяц) абсорбированного раствора или вакуум-бетона, сильно повышает их прочность.

16. Штучный элемент и раствор в отдельности могут обладать высокой механической прочностью, однако, прочность кладки определяемая также сцеплением, может оказаться весьма низкой. Поэтому, дальнейшее развитие исследования каменной кладки должно идти по определению ее прочности в зависимости не только от механической прочности камня и раствора, а также от прочности их сцепления; последнее является более обобщенным показателем совместной работы камня и раствора.

17. При высоком первоначальном сцеплении каменная кладка превращается в монолит и может существовать весьма продолжительно. Однако, каменная кладка в своей жизни может подвергаться и кривисам в виде ударов, толчков и воздействия импульсивных сейсмических сил, вибрации от машин в промсооружениях и т. д. Такие воздействия нарушают спокойную жизнь кладки, но и в этих случаях обладающая высоким сцеплением монолитная кладка в грамотно сконструированном здании может выдержать серьезные испытания.

Зная основные факторы, влияющие на сцепление раствора с камнем, путем правильного их регулирования, можно достигнуть высокой прочности каменной кладки и бетона, без излишней затраты дефицитного вяжущего цемента.

Изучение влияния минералогического состава вяжущего на структуру, деформативность и прочность раствора и бетона, проводимое советскими учеными А. Е. Шейкиным и А. В. Саталкиным совместно с изучением роли сцепления раствора с заполнителем в зависимости от его природы, безусловно открывает дальнейшую перспективу развития советской науки о бетоне и каменной кладке. Необходимым условием для этого является рассмотрение явлений, обуславливающих прочность бетона и кладки во времени, во взаимной связи между собой и окружающей средой, выявления единства противоположностей в процессе схватывания и твердения вяжущего в контакте с камнем.

Институт строительных
материалов и сооружений
Академия Наук Армянской ССР
Ереван, 1948, февраль.

Շագախի եւ քարի շաղկապման օճակապատճ հետազոտութիւն

Շագախի և քարի շաղկապման նկատմամբ կատարված հետազոտութիւնները գերազանցապէս վերաբերում են աղյուսի շարվածքին, ըստ որում գլխավորապէս հորիզոնական կարանների շաղկապմանը: Ուղղաձիգ կարանների նկատմամբ գերակշռում է այն կարծիքը, թէ շնորհիվ շաղախի կծկման՝ նրա և քարի շաղկապման ամրութիւնը ստացվում է շատ թույլ և կարող է հավասարվել գերոյի:

Հեղինակը, իր առաջարկած հատուկ սարքավորման միջոցով, հետազոտել է շագախի և քարի շաղկապման ամրութեան կախումը քարի տեսակից, կարանի կատարման եղանակից, դիրքից ու հաստութիւնից, շաղախի կոնսիստենցիայից, կազմութիւնից ու ամրացման ուժից, քարի մակերևութի մշակման եղանակից և, վերջապէս, շագախի ծավալային փոփոխութիւններից:

Կատարված էքսպերիմենտներով հաստատված է, որ ուղղաձիգ կարաններում միննույն կազմութեան շագախի զեպում հնարավոր է ստանալ շաղկապման ավելի բարձր ամրութիւններ, քան հորիզոնական կարաններում: Այնուհետև վերլուծելով իր և այլ հետազոտողների էքսպերիմենտների տվյալները, հեղինակը աւելի է շագախի և քարի շաղկապման ամրութիւնը պայմանավորող հիմնական գործոնները և նրանց դրսևորման ու ազդեցութեան տեսական բացատրութիւնը: Վերջում նշված է շագախի և քարի շաղկապման ամրութեան հաշվառման անհրաժեշտութիւնը՝ քարի շարվածքի և բետոնի մեխանիկական ամրութեան հետագա ուսումնասիրութեան ընթացքում, որպէս այդ ամրութիւնը պայմանավորող կարևորագույն գործոններից մեկը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Александр Коноров. Растворы для кладки стен. Госстройиздат, 1935.
2. А. Н. Попов. Смешанные растворы для каменной кладки. Мосьва, 1939.
3. Л. И. Онищик. Прочность и устойчивость каменных конструкций. ОНТИ, 1937.
4. R. Feret. Технология строительных вяжущих материалов. С.-Петербург, 1902.
5. S. Ler. Trainor. The Bulletin of the American Ceramic Society. Vol. 16, № 11, 1937.
6. L. A. Palmer a. D. A. Parson. Bureau of Standards Journal of Research, Vol. 12, May, 1934.
7. А. Л. Чураян. Гр. Бюро Антисейсмич. строительства АН Грузинской ССР. Тбилиси, 1916.
8. Л. И. Онищик. Каменные конструкции. Стройиздат, 1939.