

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. А. Степанян

Прочность шва кладки

(Представлено А. Г. Назаровым 17 IV 1953)

Изучение механизма формирования шва кладки, с учетом основных факторов, обуславливающих его прочность и деформативность, весьма важно для повышения прочности и монолитности каменной конструкции.

Задачу эту можно положительно разрешить практическим приложением достижений в области физики и физической химии (^{1, 2}).

Прочность шва кладки как на разрыв, так и на срез и на изгиб обуславливается прочностью сцепления между частицами как раствора, так и камня (когезия) и прочностью сцепления раствора с камнем (адгезия).

Изучение каждой из этих прочностей в отдельности, например, прочности камня на разрыв, прочности раствора на разрыв и прочности физико-химической связи раствора с камнем, безусловно представляет интерес, но пользуясь данными такого изучения нельзя определить прочность шва на разрыв, т. е. мы не можем сказать, что прочность шва будет равна наименьшей из них. Условия формирования шва зависят от целого ряда факторов, которые могут коренным образом менять характеристики сцепления между собственными частицами как раствора, так и камня (у контакта), а также сцепления раствора с камнем.

Приведем следующие примеры:

а) прочность фельзитового туфа на разрыв значительно выше, чем прочность обыкновенного вулканического туфа невысоких марок (75—100); между тем, при испытании шва образцов, изготовленных из обыкновенного вулканического туфа, отрыв по частицам камня происходит при значительно больших напряжениях, чем при испытании образцов, изготовленных из фельзитового туфа. Следовательно, в данном случае прочность сцепления между частицами камня, определенная испытанием камня на разрыв, не может служить фактором, обуславливающим прочность шва;

б) при данной активности вяжущего, подобрав соответствующий состав раствора, мы заранее, с небольшими отклонениями, мо-

жем получить раствор желаемой прочности (марки), который при данном режиме твердения будет иметь заданную прочность на сжатие и на разрыв. В шве кладки раствор находится во взаимодействии с камнями и прочность его может коренным образом меняться. Так, один и тот же раствор состава 1 : 0,4 : 5 (цем. : изв. : пес.), имеющий совершенно четкие прочностные характеристики ($R_{сж} = 46 \text{ кг/см}^2$ и $R_p = 13 \text{ кг/см}^2$), показал прочность шва на разрыв по раствору в образцах, изготовленных из фельзитового туфа, ракушечника и обыкновенного вулканического туфа, соответственно 1,0; 3,0 и 5,3 кг/см^2 . Следовательно, в данном случае, как и в предыдущем, прочность раствора вне шва не может обуславливать прочность шва кладки из камней, сильно отличающихся по своей природе;

в) возьмем вопрос прочности сцепления раствора с камнем (адгезия). Если указанную прочность будем рассматривать как прочность физико-химической связи, то связь эта также весьма существенно зависит от тех условий, которые сопровождают и обуславливают плотность контакта, поверхностные явления, интенсивность реакции новообразований в контакте. Химическая реакция может и вовсе прекратиться, если в шве не будет необходимых для этой реакции условий, в первую очередь влажностных, или если связь в контакте под воздействием объемных изменений раствора будет все время нарушаться. Например, сцепление цементного теста с гранитом при наличии влажной среды, в месячном возрасте достигло 27 кг/см^2 по опытам Н. П. Штейерта⁽³⁾, между тем без наличия влажной среды сцепление получилось только 0,9 кг/см^2 .

Поэтому прочность сцепления раствора с камнем (адгезия), как прочность физико-химической связи, изучаемой вне шва, не может также обуславливать прочность шва, так как в зависимости от условий и влажностного режима, прочность контакта раствора и камня в шве может коренным образом отличаться от таковой вне шва при специально созданных условиях твердения.

Следовательно, при изучении прочности шва, как на разрыв, так и на сдвиг и на изгиб, следует рассматривать и прочность сцепления между частицами самого камня и раствора (когезия) и прочность сцепления в их контакте (адгезия) во взаимной связи под влиянием тех основных факторов, которые сопровождают вызревание шва, начиная с момента его формирования.

Основные факторы, сопровождающих формирование и вызревание шва, описанные в наших предыдущих работах^(4, 5, 6) в основном сохраняют свою силу, и в новых наших исследованиях подтверждены дополнительными фактами. Эти исследования позволили сделать также ряд новых существенных выводов, которые не освещены или освещены в недостаточной степени в указанных работах. Выводы эти в основном следующие.

1. Существующая методика определения прочности раствора испытанием растворных кубиков и восьмерок, изготовленных на по-

ристом основании, приблизила условную прочность раствора (в кубиках и восьмерках) к действительной прочности раствора в кладке для той группы естественных и искусственных камней, которые по абсорбционным свойствам, зависящим от объема и структуры их пор, близки к красному кирпичу, принятому в качестве стандартного основания для изготовления кубиков и восьмерок.

2. Для кладки из камней, существенно отличающихся своими абсорбционными свойствами от стандартного кирпича, условная прочность растворных кубиков и восьмерок сильно отличается от действительной прочности раствора в кладке (например, для кладки из фельзитового туфа и некоторых видов ракушечника, а также камней твердых пород базальта, гранита и др.).

3. Для кладки из обыкновенного вулканического туфа, арктического туфа и красного кирпича с помощью анализа и статистической обработки достаточного количества экспериментальных данных легко установить зависимость между прочностью шва и условной прочностью раствора, так как для кладки из указанной группы камней прочности шва близки между собой. Например, по нашим опытам, для прочности шва на разрыв, линейная зависимость ($S = \alpha R_p$) между прочностью шва и условной прочностью раствора на разрыв достаточно близко подходит к экспериментальным данным при значении $\alpha = 0,47$ (при кладке под заливку).

4. Для группы камней, сильно отличающихся своей природой от стандартного кирпича, установление закономерной зависимости между прочностью шва (да и вообще прочностью кладки) и условной прочностью раствора невозможно.

5. Основной недостаток условной прочности раствора заключается в том, что при испытании кубиков и восьмерок, изготовленных на стандартном пористом основании, в определение прочности раствора вносится положительное влияние вакуума пористого основания, но вовсе не учитываются изменения прочности раствора в шве под влиянием пористых камней во времени. При этом, если для кладки из тех камней, которые по структуре пор создают благоприятный режим для вызревания и твердения раствора (⁶), неучет влияния камня во времени (при пользовании нормативными данными) идет в запас, то для кладки из камней, которые обезвоживают раствор и тем самым прекращают рост прочности раствора, неучет фактора влияния камня на прочность раствора во времени ухудшает положение, поскольку снижение прочности раствора во времени приводит к снижению прочности шва и кладки в целом.

6. В смысле обеспечения требуемой прочности шва следует различать два вида обезвоживания раствора:

а) обезвоживание при сильно водопоглощающих камнях в первые же минуты укладки, когда раствор вследствие быстрой потери свободной воды теряет подвижность. В этом случае при кладке под лопату такая интенсивная потеря опасна, так как не обеспечивается

полный контакт раствора с камнем. При кладке же под заливку, интенсивная потеря свободной воды не только не опасна, но даже положительна в смысле создания более плотного контакта раствора и камня и более плотного скелета самого раствора (4, 5, 6, 7)¹;

б) обезвоживание при наличии даже полного контакта раствора и камня до такой степени, что вследствие отсутствия в растворе достаточного количества воды, гидратация вяжущего и рост прочности как сцепления раствора с камнем (адгезия), так и сцепления между частицами самого раствора (когезия) почти прекращается. Этот вид обезвоживания опасен независимо от способа укладки.

7. Степень обезвоживания раствора шва зависит от количества и структуры пор камня и раствора и невозможно ее установить исходя из интенсивности водопоглощения и водопоглощаемости камня. Например, в наших опытах интенсивно водопоглощающие камни (обыкновенные и арктический туфы и красный кирпич) отсасывают воду из раствора быстрее, фельзитовый же туф значительно медленнее, но последний за продолжительное время отнимает из раствора значительно большее количество воды, чем указанные выше туфы и кирпич. Следовательно, раствор в кладке из фельзитового туфа, в зависимости от соотношения объема камня и раствора, может оказаться сильно обезвоженным.

8. Отсутствие начального интенсивного отсоса воды (вакуумирование) до затвердевания раствора и наличие продолжительного отсоса воды микропорами камня после затвердевания раствора, взаимно обуславливаясь, приводят к непрерывной усадке раствора шва в кладке из фельзитовых камней (6) и низкой прочности сцепления между частицами самого раствора в шве. Это вновь выявленное качество проливает свет на ряд задач, встречаемых на практике строительства.

9. Предложенная нами смазка поверхности камня цементным молоком, с целью цементации частиц камня у поверхности и достижения высокой прочности шва путем уменьшения влияния усадочных объемных изменений раствора (по нашим опытам и по опытам Н. М. Алиева), оказалась более эффективной для бакинского ракушечника в смысле производства работ, чем для фельзитового туфа, так как последний для достижения эффекта требует продолжительного вымачивания или смазки.

10. Первый опыт со смазкой поверхности контакта фельзитового туфа жидким стеклом (силикатирование), с целью цементации слабых частиц камня на поверхности и борьбы против обезвоживания, оказался неудачным вследствие образования в контактах растворимых солей. Опыт силикатирования поверхности камня следует повторить со смазкой жидким стеклом ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n \text{SiO}_2$) и вторым слоем хлористого кальция (CaCl_2) и с промывкой образовавшейся при этом на поверхности камня соли NaCl .

¹ В работы (6) по техническим причинам, возможно, в некоторых экземплярах нет ссылки на работу (7) (см. стр. 216). При обнаружении таких экземпляров просим сообщить в Издательство.

11. Для кладки из фельзитового туфа и аналогичных естественных и искусственных камней наиболее эффективным в смысле ускорения процесса сцепления в контакте между раствором и камнем, а также между частицами самого раствора является применение ускорителей твердения—растворов с солевыми добавками. При наличии этих добавок необходимая прочность шва достигается до обезвоживания раствора, да и степень обезвоживания получается меньше, так как при наличии добавок вследствие диспергирования цементных зерен вокруг вяжущего создается больше адсорбционной влаги, способствующей более интенсивной и продолжительной гидратации вяжущего.

12. Вышеуказанные суждения полностью подтвердились опытами.

Прочность шва кладки в месячном возрасте, с применением для затворения раствора состава 1 : 0,7 : 6,5 (цем. : изв. : пес.) водной вытяжки хлорной извести (плотностью от 1,07 до 1,10), повысилась в среднем для образцов, изготовленных из фельзитового туфа, от 0,4 кг/см² до 1,4 кг/см² и для ракушечника—от 0,3 кг/см² до 1,2 кг/см², т. е. прочность шва с солевой добавкой повысилась по сравнению с прочностью шва без добавки на 250--300%. При этом прочность раствора вне шва повысилась на сжатие от 25,0 кг/см² до 54 кг/см², (на одну ступень) и на растяжение—от 3,8 кг/см² до 11,0 кг/см².

13. Применение в растворе солевых добавок для борьбы против опасности обезвоживания шва и обеспечения его необходимой прочности даст возможность применения фельзитового туфа (и аналогичных камней), обладающего высокими декоративными качествами, в несущих стенах и как облицовочного камня в зданиях и сооружениях, возводимых в сейсмических районах.

14. Предложенные нами солевые добавки в качестве меры борьбы против опасности обезвоживания шва могут иметь применение гораздо шире—не только в кладке из указанных камней, но и для кладки, возводимой в сухих климатических условиях, при высоких температурах, например, в Средней Азии, и, в особенности, в случае применения мелких песков в растворах.

15. Если сравнить применение солевых добавок для кладки в зимних ⁽⁸⁾ и указанных летних условиях, то можно отметить:

В обоих случаях *цель одна*—интенсификация и удлинение срока формирования прочности шва; *средство одно*—солевые добавки; *условия применения*—диаметрально противоположные. Эффект же следует ожидать не меньший, чем для зимней кладки.

16. Прочность шва существенно зависит от влажностного режима его вызревания.

При вызревании шва на цементно-известковом растворе в среде с повышенной влажностью (свыше 90% относительной влажности) прочность шва повышается до 30%.

При этом для образцов, изготовленных из обыкновенного вулканического туфа под заливку на растворе состава 1 : 0,4 : 5 (марка

50), прочность шва достигала при испытании на сдвиг $\tau = 14,7 \text{ кг/см}^2$ и при испытании на изгиб $\sigma_{\text{изг}} = 14,3 \text{ кг/см}^2$.

17. Прочность шва кладки на сдвиг помимо факторов, указанных выше и в работах (4, 5, 6), существенно зависит также от величины обжатия шва. Обжатие шва повышает его прочность на сдвиг. Выражая прочность шва на сдвиг существующей формулой (9)

$$\tau_0 = \tau + k\sigma,$$

где τ_0 — прочность шва на сдвиг при обжатии,

τ — то же, без обжатия,

σ — нормальное напряжение от обжатия. Среднее значение k при применении мелких песков составляло 1,1 (при максимальном отклонении в проц. +15,4 и —8) и при применении песка нормального зернового состава $k = 0,74$.

Для уточнения коэффициента перехода от лабораторных испытаний шва образцов к оценке работы реальной кладки на разрыв, на срез и на изгиб, необходимо поставить серию опытов с целью выяснения влияния размерности и естественного режима твердения кладки на прочность шва. В этом отношении являются ценными опыты, проведенные в лаборатории каменных конструкций ЦНИПС (10, 11).

Институт сооружений и стройматериалов

Академии наук Армянской ССР

Վ. Ա. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

Շարվածքի կարանի ամրությունը

Շարվածքի կարանի ձգման, կտրման ու ծռման ամրությունները բնորոշվում են այն շաղկապման ամրություններով, որոնք գոյություն ունեն շաղախի մասնիկների միջև, քարի մասնիկների միջև (կոհեղիս) և շաղախի ու քարի միջև (ադհեզիա)։ Շաղկապման այդ ամրությունները պետք է գիտել շաղախի և քարի ֆիզիկո-քիմիական փոխադրեցություն պայմաններում։

Հեղինակի նախորդ աշխատությունների մեջ (4, 5, 6) նշված կարանի ամրության մի շարք հիմնական պորժոնները այս հոդվածում լրացվում են՝ իր կողմից կատարված նոր հետազոտությունների հիման վրա։

Հայտնարեցված են ֆելտիտային տուֆի (և նման քարերի) կարանի ամրության թույլ լինելու հիմնական պատճառները։ Նման քարերի շարվածքների կարանի ամրությունը ապահովելու համար առաջադրված են էֆեկտիվ միջոցառումներ, որոնք զգալի կերպով կրճատեն քարե շարվածքի միաձուլությունը և հետևապես, քարի կոստորակցիաների սեյսմակայունությունը։ Առաջադրված միջոցառումները, որոշ փորձից հետո, կարող են լայն ու ընդհանուր կիրառում գտնել ամառային շարվածքներում՝ չոր կլիմայական պայմաններում։

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1 П. А. Ребиндер, Конспект общего курса коллоидной химии, М., 1950. 2 Б. В. Дерягин, Н. А. Кротов, Адгезия, М., 1949. 3 Н. П. Штейерт, Изучение сцепления цементного теста с заполнителем, с целью изыскания способов увеличения прочности бетона. Диссертация, 1950. 4 В. А. Степанян, ДАН Арм. ССР, т. VIII, № 3, 1948. 5 В. А. Степанян, Исследование нормального сцепления раствора с камнем в применении к сейсмостойкости каменной кладки, Сб. Вопросы сейсмостойкого строительства, Ереван, 1949. 6 В. А. Степанян, Нормальное сцепление раствора с камнем, Ереван, 1950. 7 А. М. Мамиджян, ДАН Арм. ССР, т. XII, № 2, 1950. 8 Н. Н. Березин, „Строительная промышленность“, № 11, 1949. 9 С. В. Поляков, „Строительная промышленность“, № 3, 1952. 10, 11 Сб. исследования по каменным конструкциям, под редакцией Л. И. Онищика, М., 1949 и 1950