

УДК 691:620.173/.174:661.25

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА АППРЕТИРОВАННОЙ КВАРЦЕВОЙ МУКЕ

Шитова И.Ю., Смирнова М.О.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, e-mail: Innalife1@rambler.ru

Важным свойством серных композитов, которое характеризует качество сформировавшейся структуры, является прочность, зависящая от физико-механических характеристик исходных веществ и интенсивности физико-химических взаимодействий, происходящих на границе раздела фаз. Главным структурообразующим фактором в серных композиционных материалах является содержание наполнителя. В качестве наполнителя в данной работе использована аппретированная кварцевая мука с удельной поверхностью 180, 300, 420 м²/кг, в качестве аппрета – синтетический каучук марки СКДН-Н. В ходе исследований установлено влияние основных рецептурно-технологических факторов на прочностные свойства серных композитов на обработанной аппретом кварцевой муке с различной удельной поверхностью. Выявлено, что зависимости пределов прочности при изгибе и сжатии от концентрации аппрета и продолжительности изотермической выдержки имеют экстремальный характер, значения прочности при изгибе 14...16 МПа, при сжатии 50...60 МПа.

Ключевые слова: сера, серный композит, дисульфид кремния, прочность, кварцевый наполнитель, аппрет, аппретированная кварцевая мука.

THE STRENGTH PROPERTIES OF THE SULFUR COMPOUNDS ON THE BRUSHED QUARTZ FLOUR

Shitova I.Y., Smirnova M.O.

Penza State University of the Architecture and Construction, 440025, Penza, G. Titova, 28, e-mail: Innalife1@rambler.ru

An important property of sulfur composites, which characterizes the quality of the formed structure is a strength that depends on the physical-mechanical characteristics of the initial substances and the intensity of physical-chemical interactions occurring at the phase boundary. The main structure-forming factor in sulfur composite materials is the content of the filler. As filler in this paper, we used a brushed quartz powder with a specific surface area of 180, 300, 420 m²/kg, as sizing synthetic rubber stamps SKDN-N. In the course of the research the influence of major prescription-technological factors on the mechanical properties of sulfur compounds on the processed sizing quartz flour with different specific surface area. It is revealed that the dependence of ultimate strength in bending and compression on the concentration of the sizing and duration of isothermal aging have extreme character, the values of the flexural 14...16 MPa, compression 50...60 MPa.

Keywords: sulfur, sulfur composite, silicon disulfide, strength, quartz filler, appert, brushed quartz flour.

Наиболее важным свойством серных композиционных материалов, характеризующим качество сформировавшейся структуры, является прочность, которая при прочих равных условиях зависит от физико-механических характеристик компонентов и интенсивности физико-химического взаимодействия на границе раздела фаз.

Основным структурообразующим фактором является содержание наполнителя, введение которого приводит к изменению прочности серных мастик (рис. 1).

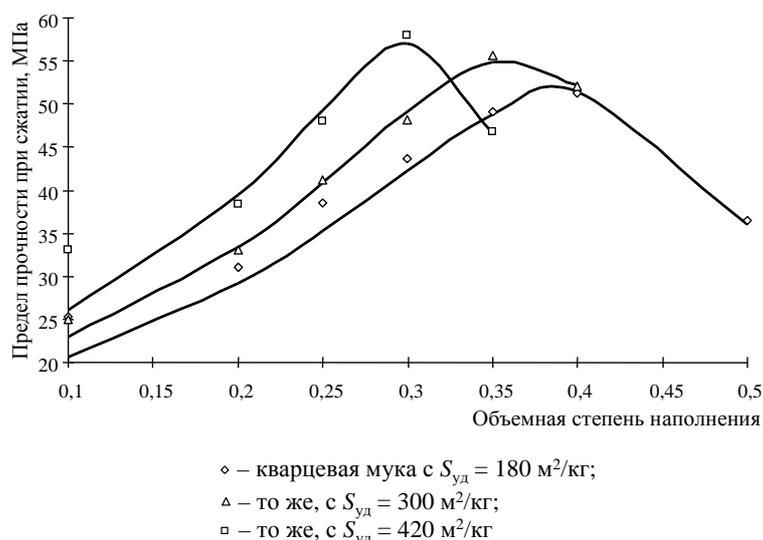
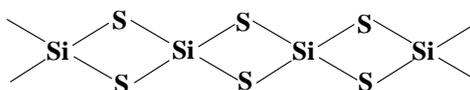


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии серных мастик от степени наполнения и удельной поверхности наполнителя

Из данных рис. 1 видно, что прочность серных мастик, изготовленных на кварцевой муке, имеет высокие значения (45...50 МПа для оптимальных степеней наполнения). Это можно объяснить следующим образом. В процессе изготовления между серой и кварцевым наполнителем протекают химические реакции с образованием дисульфида кремния $(\text{SiS}_2)_n$ [5], который является неорганическим полимером, представляющим собой асбестоподобное волокнистое соединение [3]. Его строение выражается структурной формулой:



Образующийся дисульфид кремния имеет кристаллическое строение с игольчатой формой кристаллов (рис. 2). Такие кристаллы армируют граничные слои серного вяжущего, упрочняя их и обеспечивая высокие значения прочности серных композитов на кварцевых наполнителях.

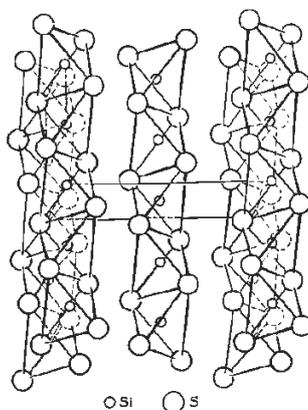


Рис. 2. Структура кристалла $(\text{SiS}_2)_n$

Анализ экспериментальных данных рис. 1 показывает также, что зависимость прочности мастик от степени наполнения имеет экстремальный характер. Следует отметить: чем выше дисперсность наполнителя, тем при меньшей степени наполнения достигается экстремум прочности. В теории композиционных материалов это объясняется образованием структуры материала, когда частицы наполнителя разделены прослойками вяжущего вещества оптимальной толщины h . Геометрическая характеристика h не позволяет однозначно охарактеризовать структуру мастик на основе серы (табл. 1). Для более точной оценки влияния структуры на прочность материала целесообразно использовать показатель K_{hom} (табл. 1), характеризующий однородность распределения фаз в серном композите [2]:

$$K_{\text{hom}} = \frac{1 + 3\phi}{(1 + \phi)^3} \cdot \frac{v_m - v_n}{v_m}, \quad (1)$$

где $\phi = hd_f^{-1}$; v_m, v_n – соответственно, объёмные доли серы и пор в композите.

Таблица 1

Толщина прослойки серы и структурные критерии серных мастик на кварцевом наполнителе

Удельная поверхность, м ² /кг	v_f, opt	$d_f, \text{мкм}$	$h, \text{мкм}$	Критерий	
				L	K_{hom}
180	0,40	12,57	2,86	7,31	0,77
300	0,35	7,55	2,14	7,43	0,75
420	0,30	5,39	1,89	7,04	0,72

Примечания: h – толщина прослойки серы между частицами наполнителя диаметром d_f ; L – структурный критерий, разработанный для цементных бетонов, равный $L = \text{СП}^{-1}$, где С – содержание связующего; П – пористость материала [1].

Из табл. 1 видно, что с увеличением удельной поверхности наполнителя наблюдается закономерное снижение коэффициента однородности K_{hom} (критерий L имеет близкие значения, однако зависимость $L = f(S_{\text{уд}})$ экстремальна). Это объясняется технологическими трудностями при распределении высокодисперсного наполнителя в объёме материала и повышением пористости мастик [2]. Таким образом, критерий K_{hom} позволяет наиболее точно оценить влияние структуры на прочность серных мастик.

Экстремальный характер изменения прочности мастик при введении наполнителя позволяет предположить, что на качество структуры материала оказывают влияние два структурообразующих процесса («конструктивный» f_k и «деструктивный» f_d):

$$R_{\text{см}} = \frac{f_k}{f_d} = \frac{a + bv_f}{1 + cv_f + dv_f^2}, \quad (2)$$

где $R_{\text{см}}$ – предел прочности при сжатии серных мастик; v_f – объёмная доля наполнителя; a, b, c, d – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.

Значения эмпирических коэффициентов уравнения (2)

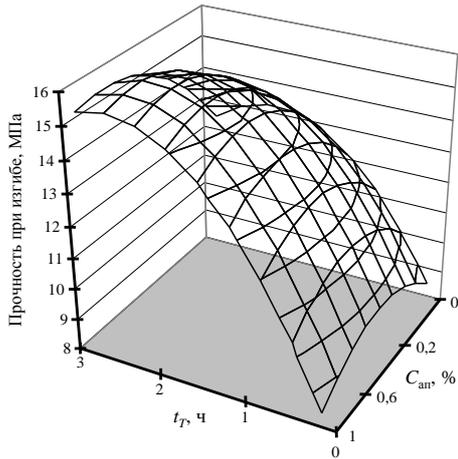
Удельная поверхность, м ² /кг	Значения эмпирических коэффициентов			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
180	15,31	-18,91	-3,92	4,49
300	16,81	-25,22	-4,29	5,28
420	18,96	-44,08	-5,14	7,14

Анализ экспериментальных данных и расчётных значений показывает, что введение наполнителя приводит к снижению интенсивности влияния как конструктивного, так и деструктивного процессов (коэффициент $b < 0$). Сопоставление значений f_k и f_d показывает, что наполнитель способствует увеличению дефектности материала. Отсюда закономерно ожидать снижение прочности материала, которое, однако, не подтверждается экспериментальными данными. Повышение прочности мастик при введении наполнителя можно объяснить увеличением энергетических затрат на рост трещин вследствие их ветвления и торможения на дефектах материала и снижением величины внутренних напряжений. Процесс увеличения прочности материала продолжается до достижения определённой дефектности структуры, которая создаётся при оптимальной степени наполнения. Дальнейшее увеличение количества наполнителя приводит к созданию структуры материала, в которой дефекты располагаются достаточно близко, что способствует быстрому росту магистральной трещины.

Аппретирование наполнителя каучуком предотвращает образование на его поверхности сульфидов кремния [5], что должно значительно изменить прочность мастик (рис. 3...5). Анализ экспериментальных данных рис. 3...5 показывает, что зависимости $R_{изг} = f(C_{ап}, t_T)$ и $R_{сж} = f(C_{ап}, t_T)$ (здесь $R_{изг}$, $R_{сж}$ – пределы прочности при изгибе и сжатии, соответственно, $C_{ап}$ – концентрация каучука СКДН-Н, t_T – продолжительность изотермической выдержки) имеют экстремальный характер, причём для серных композитов, изготовленных на кварцевой муке различной удельной поверхности, эти зависимости носят аналогичный характер. Максимальные значения $R_{изг}$ и $R_{сж}$ наблюдаются при концентрации аппрета $C_{ап} = 0,6$ % и продолжительности изотермической выдержки $t_T = 2$ часа.

Сопоставление экспериментальных данных рис. 1 и 3...5 показывает, что аппретирование поверхности наполнителя (в области оптимальных концентраций аппрета и режимов вулканизации) не приводит к ожидаемому снижению прочности мастик (на 25...30 %). Это можно объяснить снижением величины внутренних напряжений [4].

а)



б)

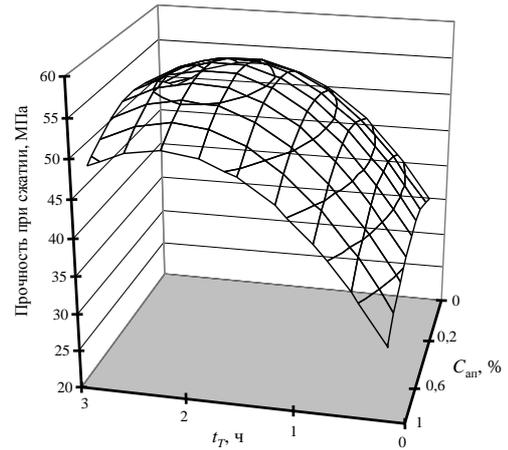
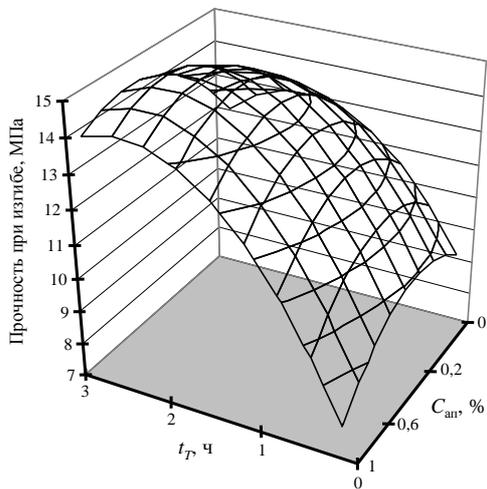


Рис. 3. Зависимости предела прочности при изгибе (а) и сжатии (б) серных композитов на кварцевой муке с $S_{уд}=180 \text{ м}^2/\text{кг}$ от продолжительности изотермической выдержки и концентрации аппрета

а)



б)

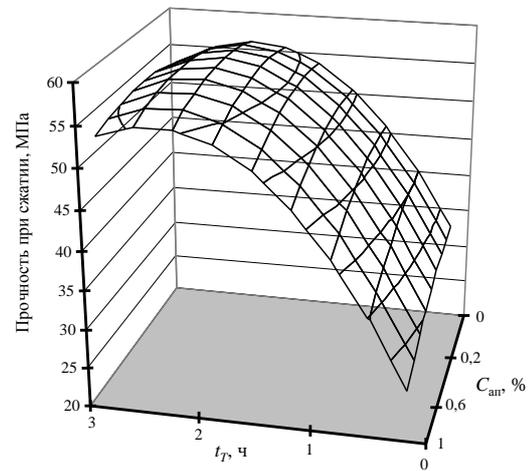
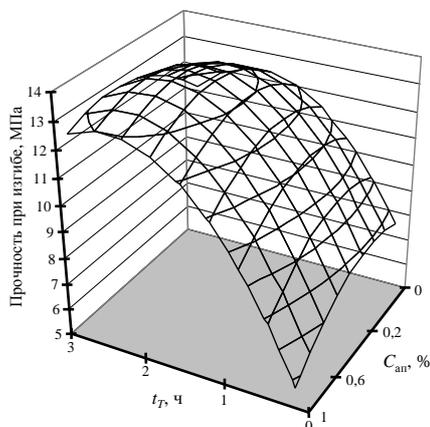


Рис. 4. Зависимости предела прочности при изгибе (а) и сжатии (б) серных композитов на кварцевой муке с $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$ от продолжительности изотермической выдержки и концентрации аппрета

а)



б)

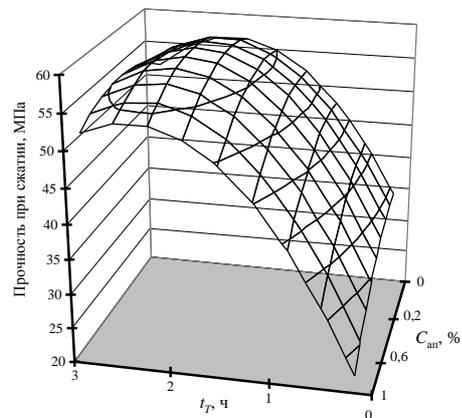


Рис. 5. Зависимости предела прочности при изгибе (а) и сжатии (б) серных композитов на кварцевой муке с $S_{уд}=420 \text{ м}^2/\text{кг}$ от продолжительности изотермической выдержки и концентрации аппрета

Таким образом, проведённые исследования позволили установить закономерности влияния основных рецептурно-технологических факторов (количества и удельной поверхности наполнителя, концентрации аппрета и продолжительности изотермической выдержки) на прочностные свойства серных композитов на аппретированном кварцевом наполнителе.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во строительных вузов, 2002. – 500 с.
2. Королев Е.В. Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы [Текст] / Е.В. Королев, А.П. Прошин, Ю.М. Баженов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2004. – 464 с.
3. Черкинский Ю.М. Химия полимерных неорганических вяжущих веществ [Текст] / Ю.М. Черкинский. – Л.: Химия, 1967. – 224 с.
4. Шитова И.Ю. Внутренние напряжения в наномодифицированных серных композиционных материалах [Текст] / Е.Н. Самошина, К.Н. Махамбетова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17131>.
5. Шитова И.Ю. Структурообразование в наномодифицированных серных композиционных материалах [Текст] / О.П. Зангиева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-17709>.

Рецензенты:

Хвастунов В.Л., д.т.н., профессор кафедры «Технология строительных материалов и деревообработки» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза;

Калашников В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология строительных материалов и деревообработки» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза.