

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени ЛЕНСОВЕТА

---

В. З. ПЕТРОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ И НЕУПРУГИХ  
СВОЙСТВ ФАРФОРА В СВЯЗИ С ЕГО ФАЗОВЫМ  
СОСТАВОМ И НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук профессор А. И. АВГУСТИНИК

ЛЕНИНГРАД  
1959



172856  
ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
А. Н. Киргизской ССР

М-41774. Подп. к печ. 23/ХІІ 1959 г. Зак. 911. Тир. 200.

Тип. ЛТИ им. Ленсовета. Ленинград, Московский пр., 26

## ВВЕДЕНИЕ

Задачи, поставленные семилетним планом развития народного хозяйства СССР в области энергетики, потребуют строительства новых линий электропередач на напряжение 500 кВ и выше, изготовления новых типов мощного электрооборудования, соответствующей электроаппаратуры и трансформаторов, для которых будут необходимы изоляторы с высокими электрическими и механическими характеристиками.

Повышение качества электрофарфора, в частности, его механической прочности можно осуществить как путем улучшения существующей технологии, так и путем внедрения на заводах новых, более совершенных составов масс.

Хотя исследованию фарфоровых масс посвящено значительное число работ, однако, некоторые вопросы, до сего времени, не получили должного разрешения. К таковым, например, относятся вопросы повышения механической прочности фарфора в зависимости от степени дисперсности кварца и его процентного содержания в массе, замены кварца глиноземом и др.

Работа Марцаля Х. (1955 г.) вызвала оживленную дискуссию по вопросу влияния кварца на механическую прочность фарфора. По мнению автора, кристаллический кварц вызывает появление в стеклофазе напряжений сжатия, способствующих улучшению физико-механических свойств фарфора. Работы последующих авторов не подтвердили предложенных Марцалем формул для расчета напряжений сжатия в стеклофазе фарфора.

В прошлом, как известно, в получении фарфора высокой механической прочности основная роль отводилась муллиту и составу стеклофазы. Однако объяснить изменение физико-механических свойств фарфора его фазовым составом не пред-



ставляется возможным, т. к. при одинаковом фазовом составе изделия можно получить фарфор либо с пониженной, либо с повышенной прочностью, вследствие создания в нем различного напряженного состояния (по величине напряжений и по знаку).

Вышесказанное приводит к мысли, что умение создать напряжения (термического и структурного характера), которые способствуют увеличению механической прочности, явилось бы одним из путей получения электрофарфора высокого качества. К сожалению, изучение напряженного состояния фарфора затруднено, вследствие неоднородности и непрозрачности последнего.

В периодической литературе имеются отдельные замечания о взаимосвязи напряженного состояния бетона, стекла и металла с их упругими (модулем упругости  $E$ , модулем сдвига  $G$  и коэффициентом Пуассона  $\mu$ ) и неупругими свойствами (логарифмическим декрементом затухания  $\delta$ ).

Установление подобных же зависимостей для фарфора позволило бы использовать измерения  $E$ ,  $G$ ,  $\mu$ ,  $\delta$  при обычных температурах и  $E$  в процессе нагрева, в качестве косвенного метода изучения термических и структурных напряжений.

В соответствии с изложенным в первой части диссертации обсуждается вопрос о связи между термическими напряжениями сжатия и растяжения, с одной стороны, и модулем упругости и логарифмическим декрементом затухания и механической прочностью — с другой.

Во второй части диссертации сообщается о зависимости упругих свойств фарфора от его фазового состава и характера распределения структурных напряжений на границе кристалла и стеклофазы и в самой стеклофазе.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходными материалами для синтезированных масс служили карельский полевой шпат, кыштымский каолин и лужский кварцевый песок. Для исследования кинетики растворения кварца и глинозема в полевопшпатовом шпате были использованы горный хрусталь и  $\alpha$ -корунд. Помол кварца и глинозема производился или в шаровой, или в вибрационной мельнице.

Массы готовились совместным мокрым помолом. Тонкость помола кварца, глинозема и полевопшпатового шпата контролировалась седиментометрическим анализом. Образцы готовились методом протяжки через мундштук и прессованием на гидравлическом прессе.

Для исследований было приготовлено 20 масс с различным содержанием кварца, с заменой кварца на глинозем и шамот, с различной степенью помола кварца и глинозема. Исследование условий закалки и возможности массового контроля продукции динамическими методами проводилось на производственных массах электротехнического фарфора заводов «Пролетарий» в Ленинграде и имени Артема в Славянске (ЭФ) и на корундомуллитовой массе завода «Пролетарий» (КМ).

Для изучения кинетики растворения кварца и глинозема в полевопшпатовом шпате дополнительно были приготовлены составы с содержанием кварца 10, 20, 30, 40 и 50% и содержанием глинозема 5, 10, 15, 20 и 25%.

### 1. Методы исследования

1. Определение модуля упругости ( $E$ ), модуля сдвига ( $G$ ) и коэффициента Пуассона ( $\mu$ ) осуществлялось резонансным звуковым и ультразвуковым методами на приборе ИЧМК—2. УЗИС—6 (Электротехнического института им. Ульянова-Ленина) и на установке, специально собранной нами для этих целей. Точность определения по первому методу при принятой нами для исследований форме образцов лежит в пределах 5%—10%, по второй методике 0,5%.

2. Логарифмический декремент затухания ( $\delta$ ) определялся резонансным методом на специально собранной для этих целей установке, состоящей из звукового генератора ЗГ—2А, датчика—динамика с обрезанным диффузором, приемника—адаптера, усилителя прибора ИЧМК—2 катодного вольтметра (или осциллографа типа ЭО—7).

Точность определения для сырых образцов 5%, для обожженных 5%—15%.

3. Для определения модуля упругости при нагревании от 20° до 1000° была собрана на кафедре специальная установка, состоящая из звукового генератора ЗГ—2А, печи с никромовым нагревателем, усилителя, осциллографа прибора ИЧМК—2, датчика (динамик) и приемника (адаптер). Точность определения 2%—5%.

4. Определение количества не растворившегося в полевопшпатовом шпате кварца и глинозема проводилось рентгеновским методом по ионизационным кривым с применением внутреннего стандарта ( $\text{CaF}_2$ ). Точность определения 1%—3%. Опыты производились на установке Гипроцемента.



5. Количество нерастворившегося кварца определялось методом подсчета в 100 полях травленной поверхности (смесь 9 в. ч.  $H_2SiF_6$  и 1 в. ч.  $HF$ ) полированного шлифа на приборе МИМ—8.

6. Для расшифровки кривых изменения  $E$  при нагревании необожженных образцов было проведено снятие кривых на установке кафедры для комплексного термического анализа.

7. Для определения коэффициента линейного расширения составов с различным содержанием кварца в интервале температур  $20^\circ—740^\circ$  был использован дилатометр.

8. Определение микротвердости, микрохрупкости и микропрочности стеклофаз фарфорового типа производилось на приборе ПМТ—3 с целью снятия характеристики механических свойств стеклофазы и ее напряженного состояния в зависимости от изменения содержания в ней кварца и глинозема.

## 2. Упругие и неупругие свойства фарфора — показатели его механической прочности и напряженного состояния

1. Исследование зависимостей модуля упругости ( $E$ ) от объемного веса ( $R$ ), а также от предела прочности на изгиб  $\sigma_{изг}$  и на сжатие  $\sigma_{сж}$ , проведенное на партии образцов ( $\sim 3000$ ) из массы электротехнического фарфора завода имени Артема и «Пролетарий» приводит к убеждению о возможности контроля качества продукции динамическими звуковыми методами при соответствующей разработке методов возбуждения и съема колебаний на образцах сложной конфигурации.

Показано, что между  $E$ , с одной стороны, и  $\sigma_{сж}$   $\sigma_{изг}$  и  $R$  — с другой, существует прямолинейная зависимость.

2. Исследование величины логарифмического декремента затухания ( $\delta$ ) на влажных и обожженных массах завода «Пролетарий» показало, что  $\delta$  является показателем неупругих свойств. С увеличением модуля упругости величина логарифмического декремента затухания падает. Для образцов, резко охлажденных в воде от температуры  $800^\circ$ , величина  $\delta$  имеет самое высокое значение 0,00651.

3. Исследование условий охлаждения фарфора на воздухе, в воде и песке проводилось на образцах массы завода имени Артема размерами:  $l = 150$  мм,  $d = 8—50$  мм.

Установлено, что в данных условиях, фарфор с повышенными физико-механическими свойствами получается при его

охлаждении от температуры  $1000^\circ—1100^\circ$  С. Скорость подачи воздуха — 4,9 м/сек, скорость охлаждения  $15^\circ/\text{мин}$ .

При охлаждении изделий от температуры  $800^\circ$  получается материал самой низкой прочности (таблицы 1, 2).

Таблица 1

Изменение модуля упругости фарфора в зависимости от условий охлаждения

Масса	Условия охлаждения		Изменение модуля упругости $\Delta E \cdot 10^{-5}$ кг/см <sup>2</sup>
	температура охлаждения	режим охлаждения	
Электрофарфоровая завода «Пролетарий»	от $1000^\circ$ до $70^\circ$	вентилятор	+ 0,22
	$830—70^\circ$	"	Все образцы растрескались
	$1200—70^\circ$	"	+ 0,09
	$600—70^\circ$	"	+ 0,02
Корундомуллитовая	$1200—70^\circ$	воздух	+ 0,70
	$1000—70^\circ$	вентилятор	+ 0,56
	$830—70^\circ$	"	+ 0,42
	$600—70^\circ$	"	+ 0,39
	$1000—70^\circ$	воздух	+ 0,91
	$830—70^\circ$	"	+ 0,22

Таблица 2

Изменение модуля упругости и логарифмического декремента затухания фарфора при различных режимах охлаждения

Режим охлаждения	Модуль упругости $E \cdot 10^{-5}$ кг/см <sup>2</sup>	Логарифмический декремент затухания
1. В лабораторной силитовой печи.	4,24	0,00183
2. В струе воздуха от температуры до комнатной температуры (в $^\circ\text{C}$ ):		
1000 . . . . .	4,45	0,00449
800 . . . . .	1,38	0,00605
700 . . . . .	1,84	0,00288
500 . . . . .	4,19	0,00183
В воде от $600^\circ$ . . . . .	1,99	0,00651
В песке от $600^\circ$ . . . . .	3,685	0,00203



а) Установлено, что по изменению величины  $E$  можно судить о наличии и распределении напряжений при термической обработке фарфора. При равномерном распределении напряжений сжатия на поверхности изделий и напряжений растяжения внутри их (при закалке) наблюдается увеличение  $E$ .

б) За температуру закалки массы ЭФ при охлаждении образцов указанных размеров со скоростью выше  $900^\circ/\text{час}$  можно принять  $1000^\circ\text{C}$ , массы КМ —  $1100-1200^\circ\text{C}$ .

в) Режим закалки изделий должен разрабатываться с учетом особенностей состава масс и габаритов изделий.

г) Быстрое охлаждение фарфора (типа закалки) является обнадеживающим методом увеличения его механической прочности особенно корундомуллитовой массы, а также путем для сокращения сроков обжига фарфора (в производственных условиях).

д) Распределение напряжений сжатия и растяжения по сечению изделий при термической обработке фарфора может фиксироваться характером излома образца: при правильном ведении режима закалки (на поверхности образца напряжения сжатия) излом характеризуется тонкой наружной полосой шероховатого излома и глянцевитым изломом внутри образца.

### 3. Влияние кварца на физико-механические свойства фарфора

Исследование влияния содержания кварца на упругие свойства фарфора проводилось на массах с содержанием кварца от 0 до 70%.

Определение модуля упругости, модуля сдвига и коэффициента Пуассона осуществлялось резонансным и ультразвуковым методами (таблица 3, 4). Содержание кварца, муллита и кристобалита определялось ионизационным рентгеновским методом.

Установлено:

1. При охлаждении фарфора возникают фазовые напряжения сжатия в стеклофазе, растяжения в зернах кварца и на границе кварц—стеклофаза.

2. Ряд физико-механических свойств фарфора ( $E$ ,  $G$ ,  $\mu$ ) достигает максимума при упрочнении стеклофазы за счет растворения в ней кварца; при этом уменьшается роль растягивающих напряжений как на границе кварц — стеклофаза, так и в самих зернах кварца. Вместе с тем, при уменьшении ве-

Таблица 3  
Зависимость упругих свойств фарфоровых масс от содержания кварца и температуры обжига

Содержание кварца в массе	Модуль упругости $E \cdot 10^{-5} \text{ кг/см}^2$		Модуль сдвига $G \cdot 10^{-5} \text{ кг/см}^2$		Коэффициент Пуассона $\mu$	
	1250 2 час.	1320 4 час.	1250 2 час.	1320 4 час.	1250 2 час.	1320 4 час.
20	5,40	3,874	2,319	1,67	0,164	0,160
25	4,728	4,726	2,045	2,008	0,156	0,177
30	3,73	5,4303	1,65	2,301	0,130	0,180
Кварц заменен на глинозем	4,902	7,102	2,086	2,939	0,175	0,212

Таблица 4  
Результаты определения упругих свойств масс с различным содержанием глинозема

Содержание глинозема в массе в %	Т°С обжига	Скорость поперечных волн в м/сек $C_S$	Скорость продольных волн в м/сек $C_L$	Модуль сдвига $G \text{ кг/см}^2$ $G \cdot 10^{-5}$	Модуль упругости $E \text{ кг/см}^2$ $E \cdot 10^{-5}$	Коэффициент Пуассона $\mu$	Механическая прочность на изгиб $\sigma \text{ изг., кг/см}^2$
2	3164	4855	4904	2,647	5,975	0,133	610
5	3321	6343	5171	3,055	7,956	0,1411	594
8	3418	5597	5404	3,685	8,08	0,1513	698
13	3785	6118	6087	4,091	9,763	0,1932	710



личины зерна кварца (при оплавлении его) происходит также уменьшение роли сжимающих напряжений в стеклофазе.

3. Максимум физико-механических показателей ( $E$ ,  $G$ ,  $\mu$ ,  $\sigma_{\text{изг}}$ ,  $\sigma_{\text{сж}}$ ) перемещается в сторону большего содержания кварца при более тонком помоле последнего.

4. Упругие константы ( $E$ ,  $G$ ,  $\mu$ ), определенные динамическими методами исследования (резонансным звуковым и ультразвуковым), отражают структуру фарфора, его напряженное состояние.

#### 4. Определение модуля упругости необожженных и обожженных образцов фарфора в интервале температур 20—1000°

1. Определение изменения модуля упругости резонансным звуковым методом для сырых необожженных образцов проводилось с целью изучения напряженного состояния фарфора в зависимости от физико-химических превращений, происходящих в нем; последние фиксировались на соответствующих термограммах.

Измерение упругих свойств необожженных образцов затруднено в связи с их низкой механической прочностью. В процессе подвески и нагрева образца происходит частое разрушение последнего, что требует большой осторожности при ведении эксперимента, а также медленного подъема температуры в печи (2° в минуту).

Как показали результаты исследования, в основном характер изменения  $E$  при нагревании сырых образцов определяется глинистой составляющей.

При нагреве от 20 до 150° С наблюдается некоторое повышение значения  $E$ , что связано с удалением остатков гигроскопической влаги, уменьшением возможности взаимного перемещения частиц (потерей пластичности).

Повышение температуры нагрева образца от 150° до 570° С приводит к снижению  $E$ . Снижение  $E$  в указанном выше интервале температур объясняется подготовкой к процессу дегидратации и самим процессом дегидратации глинистой составляющей.

В интервале температур 570—860° С наблюдается увеличение модуля упругости от  $2,3 \cdot 10^5$  кг/см<sup>2</sup> до  $3,9 \cdot 10^5$  кг/см<sup>2</sup> (на 70%). Повышение прочности обжигаемого материала в этом диапазоне температур возможно объяснить перегрупп-

пировкой связей Si—O—Al благодаря дегидратации и освобождения части связей O—OH.

При нагреве материала от 850 до 950° С наблюдается некоторое замедление роста  $E$ , которое можно связать с подготовкой решетки к муллитообразованию и развитием решетки  $\gamma$ -глинозема.

2. Исследование изменения упругих свойств для предварительно обожженных образцов при нагревании использовалось для изучения напряжений, возникающих в фарфоре за счет различия коэффициентов расширения кристаллической фазы (кварца, глинозема, муллита) и стеклофазы.

Наличие кристаллической фазы и ее количество определялось рентгеновским ионизационным методом. Для однофазных систем наблюдается закономерное снижение  $E$  при нагревании, связанное с увеличением постоянной решетки ( $r$ ). Для массы, состоящей из стеклофазы и одной кристаллической фазы—муллита, наблюдается плавное увеличение  $E$  при нагревании от температуры 400° С.

В массах, где существует две кристаллические фазы—кварц и муллит,—изменение  $E$  при нагревании носит более резкий характер: от температуры 400° С наблюдается плавное изменение  $E$ , в пределах температур 550°—600° резкий скачок в изменении  $E$ , связанный с полиморфным превращением кварца, выше температуры 600° происходит плавное увеличение  $E$ . При температуре 850°—900°—950° наблюдается снижение  $E$ , связанное с переходом стеклофазы из упругого состояния в пластическое ( $T_g$ ).

Уменьшение  $E$  при охлаждении для двухфазных систем объясняется образованием напряжений растяжения в зернах кварца и на границе зерна и стеклофазы. Последние способствуют образованию микротрещин на границе зерна, а иногда и полному отрыву зерна от стеклофазы.

Увеличение  $E$  при нагревании для тех же масс объясняется различным расширением кристаллических фаз, ведущим к заклеиванию этих микротрещин, а следовательно, и повышению механических свойств. В работе исследовано 11 масс с различным содержанием кварца, разной степенью помола последнего, с заменой его на глинозем и шамот.

В результате проведенной работы установлено:

1. Измерение  $E$  в процессе нагрева необожженных образцов позволяет изучать физико-химические превращения, происходящие во время обжига в керамических массах.



2. Исследование хода кривых  $E$  при нагревании предварительно *обоженных* образцов позволяет использовать этот метод для фазового анализа, например, определения содержания кварца по высоте скачка, для изучения структурных напряжений, возникающих в фарфоре вследствие различия коэффициентов расширения кристаллических фаз и стеклофазы, а также полиморфных превращений кварца.

### 5. Исследование кинетики растворения кварца и глинозема в полевошпате

Количество нерастворившегося кварца и глинозема в полевошпате определялось ионизационным рентгеновским методом и петрографическим анализом в полированных и прозрачных шлифах. В качестве механической характеристики стеклофазы была измерена микротвердость, микропрочность и микрохрупкость полученных материалов на приборе ПМТ-3 с алмазной пирамидкой.

На образцах с содержанием кварца 50% при температуре обжига 1200° (фактически когда только начинается растворение кварца) определение микротвердости было затруднено, т. к. промежутки между зернами были недостаточными для нанесения отпечатка. Наиболее точные результаты по микротвердости получались для образцов, обожженных при более высоких температурах (для кварца 1280—1350° С, для глинозема 1400°—1500° С).

Результаты исследования показали, что:

1. Растворение кварца в полевошпатовом расплаве начинается при 1200°. Увеличение температуры обжига и выдержки при конечной температуре способствует упрочнению стеклофазы за счет растворения в ней кварца (таблица 5).

Микротвердость стеклофазы (при содержании кварца в массе 20%) при температуре обжига 1200° равна 480 кг/мм<sup>2</sup>, при температуре обжига 1350° равна 630 кг/мм<sup>2</sup>, растворение кварца по данным рентгеноанализа соответственно для этих температур составляет от 3% до 84% от первоначального его содержания.

Микротвердость стеклофазы составов, по мере увеличения содержания в них кварца, растет, что объясняется обогащением стеклофазы кремнеземом за счет растворения кварца. Некоторое возрастание микротвердости стеклофазы от увеличения содержания кварца, по-видимому, можно связывать с возникновением напряжений сжатия в стеклофазе за счет

различия коэффициентов расширения фаз. Доказательством наличия растягивающих напряжений являются данные по измерению упругих свойств составов с содержанием кварца 40% и 50% (таблица 6).

Таблица 5

Данные растворения кварца в полевошпатовых расплавах по рентгеноструктурному ионизационному анализу

Температура обжига	% содержания кварца до обжига	Растворение кварца в %			
		Выдержка в час.			
		1	2,5	5	9
1200°	10	2	5	10	28
	20	3	10,0	24	36
	30	11,3	33,0	40	54,6
	40	19,0	26,0	42,5	60,5
	50	22,4	34,0	42,8	54,8
1350°	10	82	82,0	75,0	78
	20	84	89,0	88,0	89
	30	84,5	90,0	90,0	90
	40	85,7	87,0	92,0	91,5
	50	85,6	88,0	93,3	91,5
1280°	10	40,0	14,0	50,0	68
	20	46,0	50,1	70,0	80
	30	53,0	57,6	69,0	86
	40	64,0	67,7	69,5	86
	50	60,0	62,6	68,4	82

Для стеклофаз при содержании кварца 40% и 50% наблюдается увеличение микротвердости, по мере увеличения содержания кварца величина же всех упругих констант ( $E$ ,  $G$ ,  $\mu$ ) при этом падает, следовательно, в черепке, с одной стороны, происходит упрочнение стеклофазы, с другой — ослабление черепка за счет растягивающих напряжений в зернах кварца и на границе зерна и стеклофазы. Известную роль в снижении модуля упругости может играть и растрескивание зерен кварца за счет кристобалитизации.



2. Растворение глинозема в полево шпате способствует упрочнению стеклофазы.

Таблица 6  
Зависимость упругих свойств стеклофаз с содержанием кварца 40% и 50% от температуры обжига и длительности выдержки

Температура обжига, T °C	Выдержка в часах	Модуль упругости E кг/см <sup>2</sup> E · 10 <sup>-5</sup>		Модуль сдвига G кг/см <sup>2</sup> G · 10 <sup>-5</sup>		Коэффициент Пуассона μ	
		Содержание кварца в массе					
		40%	50%	40%	50%	40%	50%
1200	1,0	3,597	—	1,65	—	0,140	—
	2,5	5,353	3,752	2,327	1,701	0,153	0,103
	5,0	5,352	4,631	2,303	1,9565	0,162	0,150
	9,0	5,360	4,850	2,270	2,137	0,1807	0,135
	1,0	4,783	4,266	2,098	1,911	0,140	0,117
1280	2,5	5,215	4,633	2,251	2,080	0,153	0,113
	5,0	5,245	4,856	2,313	2,183	0,112	0,112
	9,0	—	4,903	—	2,115	—	0,159
	1,0	—	4,522	—	2,171	—	0,141
1350	2,5	—	4,276	—	2,046	—	0,105
	5,0	—	4,183	—	2,007	—	0,101
	9,0	—	4,137	—	1,934	—	0,120

3. В фарфоровых массах с высоким содержанием глинозема повышение прочности достигается за счет упрочнения стеклофазы, высокой механической прочности самого кристаллического глинозема и кристаллизации муллита.

4. Переход глинозема в стеклофазу уменьшает хрупкость последней в следующих пределах: при содержании глинозема в массе 5% микрохрупкость достигает 90%, при содержании глинозема 25% микрохрупкость составляет 29% (нагрузка 200 г).

5. Увеличение содержания глинозема в массе способствует увеличению E и G, μ (таблица 7).

6. Травление полированной поверхности шлифов плавиковой кислотой выявило концентрацию микротрещин около зерен кварца в большей степени, и в меньшей степени—около зерен глинозема.

Таблица 7  
Зависимость упругих свойств составов с различным содержанием глинозема от температуры обжига

Содержание глинозема до обжига в вес. %	Температура обжига °C	Скорость продольных волн C <sub>L</sub> м/сек	Скорость поперечных волн C <sub>S</sub> м/сек	Объемный вес R г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости E кг/см <sup>2</sup> E · 10 <sup>-5</sup>	Модуль сдвига G кг/см <sup>2</sup> G · 10 <sup>-5</sup>	Коэффициент Пуассона μ	Звуковой коэффициент преломления α = C <sub>L</sub> /C <sub>S</sub>
5	1300°	5550	3416	2,35	6,70	2,80	0,195	1,625
10		5575	3410	2,45	6,95	2,90	0,202	1,64
15		5750	3490	2,50	7,50	3,11	0,210	1,65
20		5975	3620	2,56	8,25	3,42	0,210	1,65
25		6300	4050	2,77	10,60	4,81	0,250	1,70

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучена зависимость упругих свойств отечественного фарфора от его фазового состава, определяемого температурой обжига, зерновым составом кварца и глинозема и их содержанием (концентрацией).

2. Звуковой резонансный метод исследования применен для изучения упругих (E) и неупругих (δ) свойств фарфора, полученного в заводских условиях.

Ультразвуковой импульсный метод использован для исследования упругих свойств лабораторных фарфоровых масс.

3. Установлено наличие зависимости между E и δ и напряженным состоянием фарфора. Эта зависимость характеризует напряженное состояние следующим образом:

а) резкое охлаждение фарфора от 800°, когда возникли условия для создания на поверхности изделий напряжений растяжения, способствует снижению E и повышению δ;

б) резкое охлаждение фарфора от 1000° (при принятых высоких скоростях охлаждения) способствует распределению на поверхности изделий напряжений сжатия; при этом происходит увеличение E и увеличение δ.

4. Установлены прямолинейные зависимости между E, и σ<sub>изг</sub>, σ<sub>сж</sub>, R. Показано, что E может характеризовать степень спекания образца, его физико-механические свойства. Рекомендуется для научно-исследовательских и заводских лабораторий применять этот метод для характеристики качества



изделий, используя для этой цели контрольные образцы. Показана перспективность (при соответствующей разработке методов возбуждения и снятия колебаний с изделий сложной формы) использования динамических методов анализа для массового контроля качества изделий.

5. Измерение  $E$  в процессе нагрева необожженных и обожженных образцов позволяет применять этот метод для изучения физико-химических превращений в процессе обжига и напряженного состояния, зависящего от различия в коэффициентах расширения стекловатой и кристаллической фаз в обожженных изделиях.

6. Показано, что для двухфазных, трехфазных и четырехфазных обожженных материалов наблюдается, в отличие от однофазных, увеличение  $E$  в процессе нагрева.

7. Исследовано и доказано на большом количестве составов фарфора с различным содержанием кварца следующее распределение напряжений в этих массах: напряжения растяжения в зернах кварца и на границе кварц — стеклофаза и напряжения сжатия в стеклофазе между зернами кварца.

8. Введение более резкого охлаждения фарфора в производственных условиях позволит сократить длительность обжига изделий с сохранением высокого качества продукции. Разработка режима закалки крупногабаритных и сложной конфигурации изделий должна производиться с учетом их размеров и особенностей состава масс.

Введение более тонкого помола кварца в технологию изготовления электротехнического фарфора позволит увеличить прочность последнего вследствие обогащения стеклофазы фарфора кремнеземом и ослабления роли растягивающих напряжений в зернах кварца и на границе кварц — стеклофаза.

\* \* \*

Публикация по материалам, вошедшим в диссертацию:

1. Тезисы докладов Научно-технической конференции ЛТИ им. Ленсовета, 1958 г.
2. Труды Ленинградского технологического института им. Ленсовета, 1959 г., 97—102, вып. LVII.
3. Журнал Прикладной Химии № 7, стр. 1445—1451, 1959 г.
4. Журнал Прикладной Химии № 8, стр. 1678—1685, 1959 г.
5. Журнал Прикладной Химии № 10, стр. 2351—2354, 1959 г.
6. Журнал Прикладной Химии № 12, стр. 2788—2791, 1959 г.

172856

