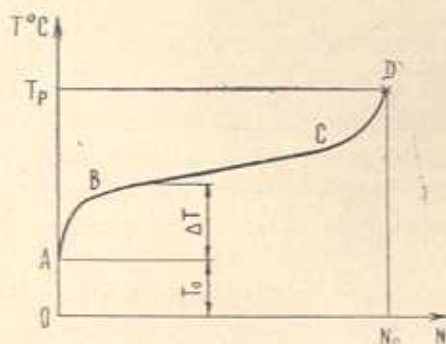


Н. Е. САРКИСЯН

О ВЛИЯНИИ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ
 СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ТИПА СВМ НА
 РАЗОГРЕВ ПРИ ОСЕВОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ
 НАГРУЖЕНИИ

Исследованию циклического разогрева тканевых стеклопластиков при изгибе посвящены работы [1, 2] и др. Влияние ряда факторов (вид деформации, концентратор напряжения, масштабный фактор и др.) на степень циклического разогрева стеклотекстолитов при осевом нагружении было исследовано в работах [3, 4], где показано, что типичная кривая кинетики разогрева стеклотекстолитов в общем случае состоит из трех участков (фиг. 1). Начальный участок *AB* характеризует процесс быстрого разогрева, и длительность его относительно невелика. На втором участке (*BC*) происходит линейный рост температуры разогрева (выносливость композита в основном определяется протяженностью этого участка). На третьем участке циклического разогрева (участок *CD*) происходит нелинейный рост температуры, завершающийся разрушением образца при определенной температуре T_p .



Фиг. 1. Общая схема разогрева при циклическом деформировании пластмасс.

В настоящей работе излагаются результаты экспериментального исследования зависимости разогрева стеклопластиков типа СВМ от анизотропии механических свойств композита. Рассматриваются также влияние изменения укладки волокон в стеклопластике на разогрев в случае пульсирующего растяжения вдоль направления наибольшего количества волокон. При этом под ΔT понимается температура циклического разогрева, а температура разрушения T_p определяется как сумма ΔT и T_0 , где T_0 — температура окружающей среды.

§ 1. Методика экспериментов

Материалом для исследований служили стеклопластики типа СВМ на эпокси-фенольном связующем с укладкой волокон 5:1 и 1:1 и СВМ на бутвар-фенольном связующем при укладке волокон 1:1. Плоские образцы имели форму двухсторонней лопатки с длиной рабочей части 30 мм и вырезались на фрезерном станке из листов толщиной 5 мм (на эпокси-фенольном связующем) и 10 мм (на бутвар-фенольном связующем).

Прочностные характеристики испытанных образцов при статическом растяжении и их статистическая оценка приведены в табл. 1. Статистические испытания проводились при постоянной скорости относительной деформации, равной 0.2 мин^{-1} .

Таблица 1

Тип связующего стеклопластика	Укладка волокон	Ориентация образца, φ град.	Число испытаний	Предел прочности при растяж. σ_B кгс/мм ²	Ср. квад. отклон. велич. σ_D кгс/мм ²	Модуль упругости* E кгс/мм ²
Эпокси-фенольное	5:1	0	5	64.09	4.05	4810
Эпокси-фенольное	1:1	0	7	43.12	3.24	2960
Бутвар-фенольное	1:1	0	5	35.80	1.02	2480
Бутвар-фенольное	1:1	22.5	4	13.98	1.00	1170
Бутвар-фенольное	1:1	45	4	8.77	0.57	1040

* Модуль упругости приходится по начальному линейному участку зависимости напряжение—деформации.

Усталостные испытания проводились на гидропульсаторе ЦДМ—10 Пу, работающем в режиме мягкого нагружения (постоянство амплитудного значения нагрузки в течение испытания). Частота нагружения составляла 1200 *цикл/мин*. База испытаний была принята равной 10^5 *циклам*.

Задаваемая нагрузка и коэффициент асимметрии цикла r устанавливались по шлейфовому осциллографу. На шлейф подавался предварительно усиленный электрический сигнал от проволочных тензодатчиков, наклеенных на корпус промежуточных захватов [5].

Стеклопластики на эпокси-фенольном и на бутвар-фенольном связующем испытывались соответственно на пульсирующее растяжение

($r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0$) и на симметричное растяжение — сжатие ($r = -1$).

Температура разогрева измерялась на поверхности испытываемых образцов по трем сечениям* при помощи медно-константановых термомпар, изготовленных из проволочки диаметром 0.2 — 0.3 мм. По каждому

* В настоящей работе приводятся результаты измерения температуры разогрева по сечению, где произошло разрушение композита (с отклонением не более 2—3 мм).

сечению температура измерялась двумя последовательно соединенными между собой термопарами, которые механически прижимались к лицевой поверхности рабочей части образца, симметрично по обе его стороны. Прижим термопар осуществлялся при помощи технической изоляционной ленты шириной 10 мм. Термопары непосредственно присоединялись к чувствительным зеркальным гальванометрам типа М194. Погрешность измерительной аппаратуры в принятой методике была в пределах $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Температура окружающей среды на весь период испытаний была в пределах $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Во всех опытах определялось также изменение продольной деформации в процессе циклического нагружения стеклопластика. Методика измерения деформаций дана в работе [5].

§ 2. Влияние анизотропии механических свойств стеклопластика на разогрев при симметричном растяжении — сжатии

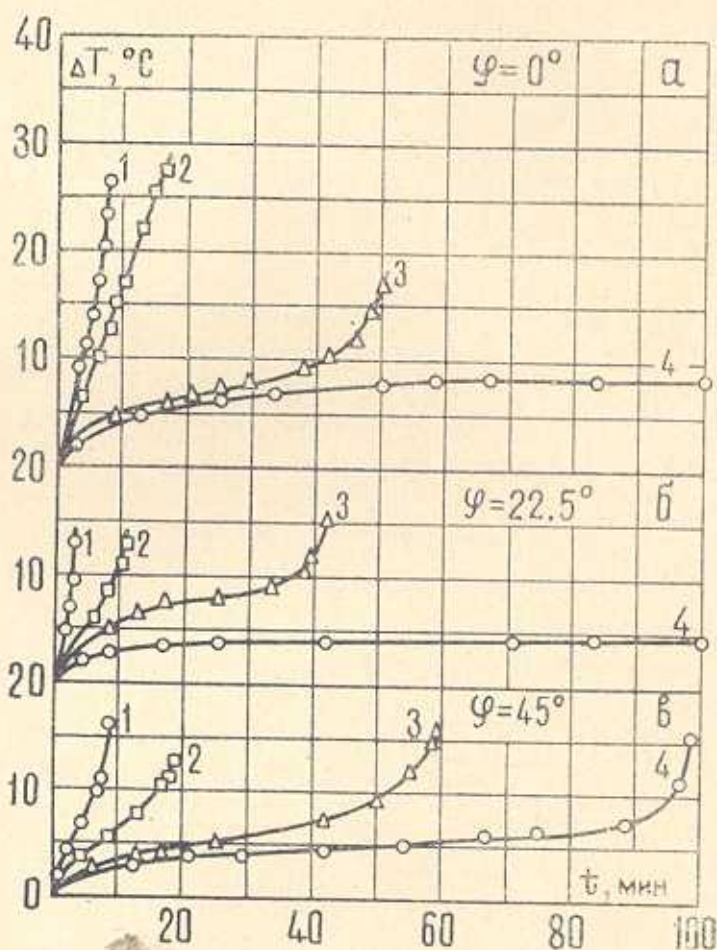
Влияние анизотропии механических свойств стеклопластика на разогрев было исследовано на СВМ 1:1 на бутвар-фенольном связующем при трех углах ориентации плоскости циклического деформирования относительно главной оси упругой симметрии композита ($\varphi = 0^\circ$, $\varphi = 22,5^\circ$ и $\varphi = 45^\circ$).

Кривые зависимости температуры разогрева ΔT от времени и амплитудного значения напряжения приведены на фиг. 2.

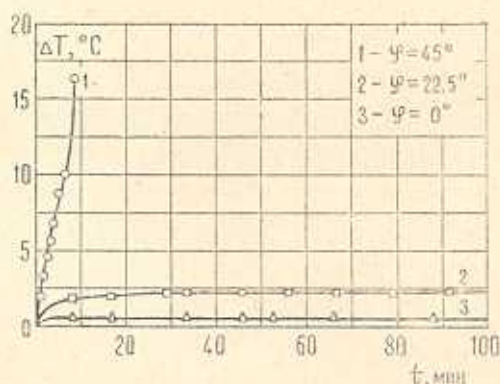
Во всех случаях, когда циклическое деформирование образцов завершалось их разрушением, наблюдался непрерывный рост температуры разогрева вплоть до момента разрушения*, что подтверждает результаты, полученные ранее в работах [3, 4]. При этом, температура разогрева на поверхности образца достигает определенного значения T_p , средняя величина которой, как показывают результаты статистической обработки (табл. 2), проявляет незначительное колебание. Таким образом, величина температуры T_p не зависит от циклического напряжения (выносливости), но меняется в зависимости от угла ориентации плоскости циклического деформирования относительно оси упругой симметрии композита.

Для сравнительной оценки влияния анизотропии механических свойств стеклопластика на разогрев проведены испытания образцов, имеющих различную ориентацию при относительно одинаковом уровне нагружения ($\sigma_a^r/\sigma_n^r = \text{const}$) и при одинаковом амплитудном значении циклического напряжения ($\sigma_a^r = \text{const}$). В первом случае циклического деформирования температура разогрева образцов, имеющих ориентацию $\varphi = 22,5^\circ$ и $\varphi = 45^\circ$, примерно одинакова и на основном участке разо-

* Соответствующие кривым 4 на фиг. 2а и б образцы разрушились при длительности циклического нагружения $t = 368$ мин и $t = 390$ мин и максимальной температуре разогрева $\Delta T = 17^\circ\text{C}$ и $\Delta T = 10,5^\circ\text{C}$.



Фиг. 2. Разогрев СВМ 1:1 на бутвар-фенольном связующем в зависимости от σ_a цикла и времени ($r = -1$). а. 1—5.32 кс/мм², 2—4.51 кс/мм², 3—3.96 кс/мм², 4—3.69 кс/мм². б. 1—2.17 кс/мм², 2—1.62 кс/мм², 3—1.47 кс/мм², 4—1.33 кс/мм². в. 1—1.17 кс/мм², 2—1.10 кс/мм², 3—1.01 кс/мм², 4—0.88 кс/мм².



Фиг. 3. Влияние анизотропии механических свойств на разогрев СВМ 1:1 на бутвар-фенольном связующем, $\sigma_a = 1.17$ кс/мм² ($r = -1$).

грева (участок BC на фиг. 1) в два раза выше, чем при $\varphi = 0^\circ$. Характерная зависимость температуры разогрева ΔT при втором случае циклического деформирования приведена на фиг. 3*.

Влияние анизотропии механических свойств стеклопластика на температуру разогрева в некотором приближении можно охарактеризовать величиной „модуля“ разогрева B и параметром α , которые определяются по установившимся температурным режимам циклического деформирования. В этом случае температура разогрева ΔT является функцией от уровня нагружения и выражается эмпирической зависимостью [6]

$$\Delta T = B \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_s} \right)^{2\alpha} \quad (1)$$

где σ_0 — циклическое напряжение; σ_s — прочность при статическом растяжении; α — постоянная, зависящая от свойств материала.

В приводимой зависимости при значении $\sigma_0 = \sigma_s$ величина B имеет вполне определенный физический смысл, а именно: соответствует температуре разогрева при циклическом деформировании с напряжением, равным пределу прочности [6].

Величина параметров B и α , очевидно, должна зависеть от физико-механических свойств материала, а также от масштабного фактора и условий циклического деформирования.

При фиксировании указанных выше условий также параметры B и α будут меняться в соответствии с изменением исходных физико-механических свойств композита в зависимости от длительности циклического деформирования. Относительно реальных значений параметров B и α отметим еще и то, что в данной работе, при симметричном растяжении-сжатии необходимые для определения указанных параметров установившиеся температурные режимы разогрева наблюдались в неблагоприятных условиях оценки истинного значения циклической нагрузки (при циклических напряжениях, составляющих 6–9% от предела кратковременной прочности).

Во всех случаях определения параметров B и α после сравнительно быстрого небольшого подъема дальнейший рост температуры разогрева прекращался и после примерно 7 часов деформирования ($N = 5 \cdot 10^5$ циклов) образцы снимались с испытательной машины, т. е. ничто не указывало на возможность их разрушения на принятой базе испытаний. При этом, для серии одинаково ориентированных образцов ($\varphi = \text{const}$) параметры B и α определялись по трем уровням установившегося температурного режима разогрева.

* Образцы, которым соответствуют кривые 2 и 3, на принятой базе испытаний не разрушились.

§ 3. Влияние изменения укладки волокон в стеклопластике на разогрев при пульсирующем растяжении вдоль волокон

Усталостным испытаниям подвергались стеклопластики СВМ на эпокси-фенольном связующем при укладке волокон 5:1 и 1:1. Пульсирующая растягивающая нагрузка ($r = 0$) прилагалась по направлению наибольшего количества стекловолокон ($\varphi = 0^\circ$).

Кинетика разогрева в зависимости от укладки волокон и максимального напряжения цикла иллюстрируется на фиг. 4*.

Независимо от укладки волокон в композите, когда образец разрушается на принятой базе испытаний, температура разогрева непрерывно растет, достигая определенного значения T_p при наступлении разрушения. Как показывают кривые на фиг. 4 и данные, приведенные в табл. 2, при прочих неизменных условиях пульсирующего растяжения, температура разрушения T_p не зависит от величины циклического напряжения и практически не меняется от изменения соотношения продольных и поперечных волокон в стеклопластике.

Влияние изменения укладки волокон в композите на разогрев графически иллюстрируется на фиг. 5**, где показан разогрев при одинаковом абсолютном и относительном значении максимального напряжения цикла.

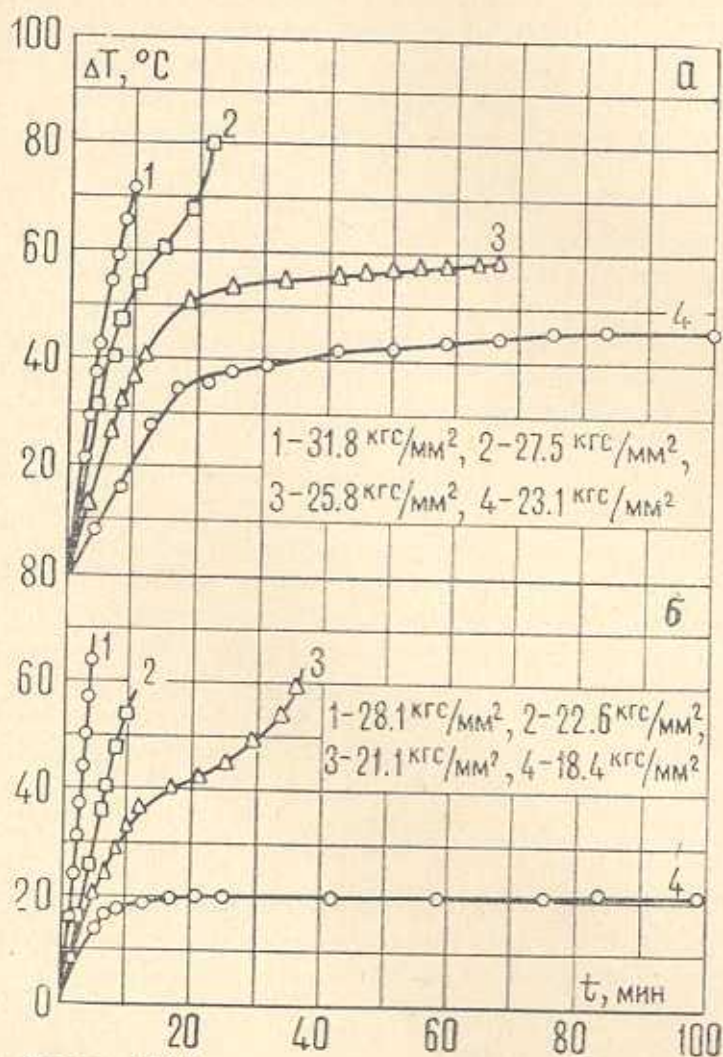
Таблица 2

Тип связующего стеклопластика	Укладка волокон	Ориентация образцов, φ град.	Коэффци. асимм. цикла r	Темпер. разгрит., $T_p, ^\circ\text{C}$	Параметры установ. режима разогрева	
					$V, ^\circ\text{C}$	α
Эпокси-фенольное	5:1	0	0	93 ± 2.5	530	1.26
Эпокси-фенольное	1:1	0	0	88 ± 2.0	500	1.88
Бутвар-фенольное	1:1	0	-1	50 ± 1.0	6200	1.51
Бутвар-фенольное	1:1	22.5	-1	35 ± 0.5	4000	1.47
Бутвар-фенольное	1:1	45	-1	38 ± 0.5	1200	1.24

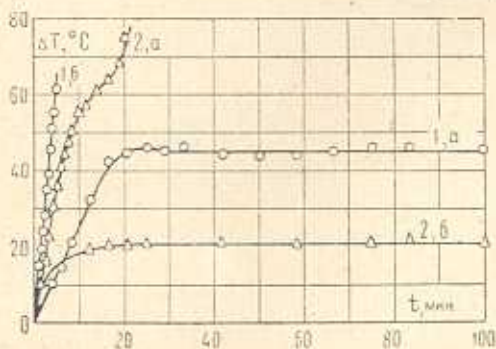
Как видно из фиг. 5, на первом участке разогрева, при одинаковом абсолютном значении циклического напряжения ($\sigma_{\max} = 24.0 \text{ кгс/мм}^2$) и длительности деформирования, рост температуры на поверхности образцов из СВМ 1:1 в 5—6 раз больше, чем у СВМ 5:1. Между

* Образцы, которым соответствует кривая 4 на фиг. 4а, разрушались при средних значениях $\Delta T = 65^\circ \text{C}$ и $t = 280 \text{ мин.}$ Что касается образцов, разогрев которых характеризуется кривой 4 на фиг. 4б, то при дальнейшем циклическом деформировании температура их оставалась неизменной, и образцы не разрушились. Кривая 3 на фиг. 4а соответствует разрушению по месту концентратора напряжений (плавный переход от рабочей части к головкам образца).

** Образец, которому соответствует кривая 1а, разрушился при $t = 175 \text{ мин.}$ и $\Delta T = 60^\circ \text{C.}$ Образец 2б не разрушился.



Фиг. 4. Разогрев СВМ на эпокси-фенольном связующем в зависимости от σ_{max} цикла и времени ($\varphi = 0^\circ$, $r = 0$). а — укладка волокон 5:1, б — укладка волокон 1:1.



Фиг. 5. Влияние укладки волокон в стеклопластике на разогрев ($\varphi = 0^\circ$, $r = 0$)
 1 — $\sigma_{\text{max}} = 24,0 \text{ кгс/мм}^2$, 2 — $\sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{н}} = 0,43$. а — укладка волокон 5:1,
 б — укладка волокон 1:1.

тем, при относительно одинаковом уровне циклического нагружения (например, $\sigma_{\max}/\sigma_0 = 0.43$) на том же участке температура разогрева у СВАМ 1:1 в 2—3 раза меньше, чем на образцах, изготовленных из стеклопластика с укладкой волокон 5:1.

Зависимость циклического разогрева от изменения укладки волокон в композите, в указанном выше приближении, снова можно определять величиной параметров B и α (табл. 2).

Как показывают результаты настоящей работы, для СВАМ с укладкой волокон 5:1 и 1:1 величина B примерно одинакова. Между тем, параметр α для СВАМ 5:1 в полтора раза меньше, чем для СВАМ 1:1, что указывает на усиление разогрева у стеклопластика СВАМ 5:1 и объясняет его относительно низкий коэффициент усталостной прочности по сравнению с равнопрочным композитом СВАМ 1:1 [5].

Отметим, что в пользу изложенных выше выводов относительно влияния укладки волокон на разогрев говорят и результаты работы [7], где была показана идентичность характера изменения предела прочности от температуры при статическом растяжении для СВАМ 5:1 и СВАМ 1:1 на связующем ЭД-6. Резкое снижение прочности у обоих стеклопластиков снова имело место при почти постоянном значении температуры, равном 70°C (аналогично параметру B) и, наконец, при одной и той же температуре испытания более сильное уменьшение предела прочности наблюдалось у стеклопластика с укладкой волокон 5:1.

В ы в о ы

1. Влияние анизотропии механических свойств стеклопластиков на разогрев в некотором приближении можно охарактеризовать параметрами B и α , определяя их значения по установившимся температурным режимам циклического разогрева.

2. Изменение соотношения продольных и поперечных волокон в стеклопластике, при прочих неизменных условиях деформирования, меняет разогрев и практически не влияет на величину температуры разрушения и „модуль“ разогрева.

3. Величина температуры разогрева T_r , при достижении которой наступает разрушение стеклопластика, при прочих равных условиях деформирования обусловлена анизотропией механических свойств и не зависит от циклического напряжения.

Ն. Ե. ՍԱՐԿԻՍՅԱՆ

ԻՆԲՔԱՏԱՔԱՅՄԱՆ ՎՐԱ՝ ԱՌԱՆՏՔԱՅԻՆ ՑԻԿԼԻԿ ԲԵՌՆԱՎՈՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ,
 СВАМ ՏԻՊԻ ԱՊԱԿԵՊԼԱՍՏԻՆԵՐԻ ՄԵՆՈՒՆԻՎԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
 ԱՆԻՉՈՏՐՈՊԻԱՅԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ուսումնասիրվում է ինքնատաքացումն ու քայքայումը՝ ցիկլիկ բեռնափորման փափուկ ուժերի դեպքում, կախված ապակեպլաստի մեխանիկական հատկությունների անիզոտրոպիայից: Իրտարկվում է նաև բարատող ձգման դեպքում թեղիկների դասավորության ազդեցությունը ինքնատաքացման վրա:

Յույց է արված, որ ինքնատաքացման չհաստատունացված ջերմաստիճանային անժիմների դեպքում, նյութը քայքայվում է ջերմաստիճանի որոշակի արժեքի դեպքում, որը կախված է ցիկլիկ լարումից: Քայքայման ջերմաստիճանի արժեքը պայմանավորվում է նյութի մեխանիկական հատկությունների անիզոտրոպիայով և ցիկլիկ դեֆորմացիայի տեսքով:

Բարատող ձգման դեպքում՝ թեղիկների փոխհարաբերության փոփոխությունը ուժեղացնում է ինքնատաքացումը, իսկ չի ազդում ինքնատաքացման ռեգուլի» և քայքայման ջերմաստիճանի վրա:

ON INFLUENCE OF ANISOTROPIC MECHANICAL
 CHARACTERISTICS ON THE HEATING OF „СВАМ“
 GLASS REINFORCED PLASTIC IN THE CASE OF
 AXIAL CYCLIC LOADING

N. E. SARKISSIAN

S u m m a r y

The heating and destruction of glass reinforced plastic in the case of soft regime of cyclic loading, depending on anisotropy of mechanical characteristics, are considered.

It is shown that in the case of a non-stationary temperature regime of heating, the material is destructed when a certain temperature is reached independent of cyclic strains.

The temperature of destruction is due to the anisotropy of mechanical properties of the material and to the mode of cyclic deformation.

In the case of pulsation stretching the change of the stacking of glass reinforced plastic increases the heating, without affecting the module value of heating and the destruction temperature.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стинкас А. В.* Изучение усталостных свойств жестких пластмасс. Автореферат канд. дисс., М., 1963.
2. *Берштейн В. А., Гликман Л. А.* Методика испытания стеклопластиков на усталость при чистом изгибе плоских образцов с заданным моментом. Заводская лаборатория, 29, 7, 1963.
3. *Олдырев П. П.* Определение усталостной долговечности пластмасс по температуре саморазогрева. Механика полимеров, 1, 1967.
4. *Олдырев П. П.* Температура разогрева и разрушение пластмасс при циклическом деформировании. Механика полимеров, 3, 1967.
5. *Саркисян Н. Е.* Прочность и деформативность стеклопластиков типа СВМ при циклическом осевом нагружении. Изв. АН Арм. ССР, Механика, т. XXII, 6, 1969.
6. *Ратнер С. Б., Стинкас А. В.* Влияние напряжения на равновесную температуру саморазогрева пластмасс при циклическом нагружении. Механика полимеров, 1, 1967.
7. *Квасников Е. Н., Заверев А. Н.* Исследование механических характеристик стеклопластика типа СВМ в условиях пониженных и повышенных температур. В кн. Физико-химия и механика ориентированных стеклопластиков. Изд. Наука, М., 1967.