

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ ОТВЕРДИТЕЛЯ ЭТАЛ-23Х

**А.Н. Блазнов, В.В. Самойленко, М.Е. Журковский, В.В. Фирсов, Н.В. Бычин, Е.В. Атясова, З.Г. Сакошев**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск*

В работе исследовано эпоксидное связующее на основе смолы ЭД-20 и отвердителя аминного типа Этал-23Х. Цель работы – исследование реологических, физико-механических и термомеханических свойств образцов связующего, отвержденного при различных режимах. Вязкость и изменение вязкости связующего определяли на ротационном вискозиметре. Температуру стеклования определяли методом ТМА по ГОСТ 32618.2-2014, степень полимеризации и температуру стеклования – методом ДСК по ГОСТ Р 57687-2017 и ГОСТ Р 55135-2012 соответственно, прочность при растяжении – по ГОСТ 11262-2017. Исследование реологии связующего показало, что оно имеет низкую начальную вязкость (1,4 Па·с), связующее при комнатной температуре малоактивное и может перерабатываться около 5-ти часов. Результат испытания образцов связующего на растяжение показал, что оно имеет достаточно хорошую прочность после отверждения 4 ч при 60 °С (69,4 МПа), не уступающую другим составам из этого же класса. Дополнительная термообработка при температуре 100 °С приводит к небольшому понижению прочности (до 58,8 МПа). Температура стеклования возрастает с 85 °С до 90 °С при увеличении времени и температуры выдержки (от 60 °С до 100 °С), соответственно. Степень полимеризации образцов связующего, определенная методом ДСК – составляет 93-95 %, температура стеклования – 80 °С, что соответствует данным ТМА. Таким образом, рекомендованный режим отверждения (2 ч при 23 °С + 4 ч при 60 °С) обеспечивает оптимальное сочетание физико-механических, термомеханических свойств связующего с отвердителем Этал-23Х, не уступающее другим связующим «холодного» отверждения.

*Ключевые слова:* эпоксидные связующие, аминный отвердитель Этал-23Х, Этал-45М, ТМА, ДСК, прочность, растяжение, температура стеклования, отверждение, степень полимеризации.

## ВВЕДЕНИЕ

Для создания армированных полимеров широкое применение находят эпоксидные смолы на основе различных отвердителей [1, 2]. Низковязкий отвердитель «Этал-23Х» – циклоалифатический отвердитель аминного типа, обладает рядом преимуществ, которые позволяют применять его в производстве стеклопластиков. Предназначен для холодного отверждения эпоксидных смол и компаундов. Не содержит растворителей. В тонком слое бесцветный. В толстых слоях имеет легкий желтоватый оттенок [1].

Отвердитель рекомендуется применять для следующих целей:

- изготовление стеклопластиковых и углепластиковых изделий методом контактного и вакуумного формования, в том числе радиопрозрачных, устойчивых к УФ, пресной и морской воде.
- изготовление декоративных и защитных покрытий бетонных, металлических, деревянных поверхностей, устойчивых к воздействию окружающей среды, изделий из нержавеющей стали;
- изготовление лакокрасочных покрытий для внутренних и наружных работ;

- нанесение финишного глянцевого или полуглянцевого покрытия полимерных полов, с повышенной устойчивостью к царапанью.

Обеспечивает высокую прочность и водостойкость готовых изделий.

По физико-химическим, механическим и электрическим показателям в смеси с эпоксидной смолой ЭД-20 соответствует нормам [1], указанным в таблице 1.

**Табл. 1 – Характеристики отвердителя Этал-23Х**

Наименование показателя	Норма по ТУ
1. Соотношение со смолой ЭД-20 (вес.ч.)	100:32
2. Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при T=25 °С, с, не более	19
3. Время жизни в массе 200г с ЭД-20, T=25 °С, ч, не менее	4,5
4. Время гелеобразования в слое 1-2мм, при T=60 °С, мин, не более	80
5. Прочность при растяжении, МПа, не менее	60
6. Прочность при изгибе, МПа, не менее	97,75
7. Теплостойкость по Мартенсу, °С, не менее	110
8. Водопоглощение, %, не более	0,03
9. Адгезия к бетону	Отрыв по бетону

Режим отверждения при изготовлении композиционных материалов играет немаловажную роль. Если КМ будет недоотвержден, то он будет обладать не полным ресурсом физико-механических

свойств. Режим отверждения влияет на себестоимость продукта, путем использования дорогого оборудования и его качество. Важно при отверждении не допустить резкого подъёма температуры отверждения, а иначе, изделие может получить температурный «удар», из-за которого снизятся эксплуатационные характеристики.

Деформационная теплостойкость является одной из важнейших характеристик материала. Она определяется температурой стеклования и характером деформаций, которые возникают при механическом напряжении и воздействии повышенной температуры на образец. Термомеханический анализ (ТМА) – температурная зависимость деформации при воздействии статической механической нагрузки на различные материалы (термопласты, реактопласты, эластомеры, адгезивы и покрытия, плёнки и волокна, металлы, керамика и композиты). Устанавливают при нагреве образца с постоянной скоростью [3].

Теплостойкость определяется температурными характеристиками процесса перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние, а также величиной деформации образца. Температура размягчения (стеклования) является характеристикой теплостойкости материала. Определяют методом ТМА по ГОСТ 32618.2-2014 [3] в точке пересечения касательных, проведенных к кривой температурной зависимости, полученной в эксперименте.

Степень полимеризации была определена методом ДСК. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) позволяет фиксировать тепловой поток, который характеризует происходящие в веществе изменения в результате нагрева или охлаждения [4]. Определяют по ГОСТ Р 57687-2017 на приборе NETZSCH DSC 204 F1 со скоростью нагрева образцов 10 °С/мин до 200-250 °С в инертной среде азота пропускаемого через измерительную ячейку со скоростью 30 мл/мин °С.

При первичном нагреве неотвержденное связующее переходит из жидкого состояния в твердое, при этом на кривой ДСК этот переход проявляется экзотермическим эффектом.

При использовании для исследований неотвержденного материала, найденные значения температур начала и конца экзотермической реакции позволяют определить режимы отверждения [5, 6]. Если же для исследования используется отвержденный полимер, то с помощью ДСК определяется значение температуры стеклования [7]. По площадям экзотермических пиков можно установить степень отверждения связующего [8-10].

Важной характеристикой связующего является его живучесть, которая определялась на ротационном вискозиметре путём измерения исходной динамической вязкости и изменения этой вязкости во времени [11].

Одними из классических методов определения физико-механических свойств отвержденных связующих являются испытания на растяжение и трехточечный изгиб.

Для определения прочности при растяжении по ГОСТ 11262-2017 [12] используют образцы в форме лопаток. Растягивают на разрывной машине при постоянной скорости перемещения подвижного зажима. Максимальную силу и удлинение регистрируют в момент разрыва.

С целью обоснованного выбора оптимальных температурно-временных условий полимеризации эпоксидного связующего на основе отвердителя Этал-23Х, были проведены экспериментальные исследования физико-механических и термомеханических свойств образцов связующего, изготовленных при разных режимах отверждения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для определения технологичности связующего на основе отвердителя Этал-23Х на ротационном вискозиметре были измерены исходная динамическая вязкость и изменение вязкости во времени. Приготавливали связующее в соответствии с рекомендуемым соотношением (табл. 1): 100 м.ч. – (ЭД-20) + 32 м.ч – (Этал-23Х), затем помещали в измерительную ячейку и определяли вязкость через определенные промежутки времени при температуре экспериментов 25 °С.

На рисунке 1 представлены результаты измерений динамической вязкости связующих при температуре 25 °С.

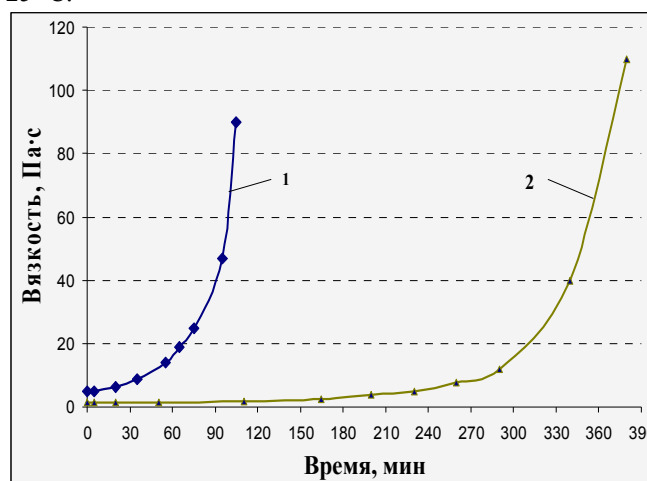


Рис.1 Изменение динамической вязкости связующего с Этал-23Х (2) при температуре 25 °С в сравнении со связующим на основе Этал-45М (1)

Как следует из приведенных на рисунке 1 данных, связующее на основе Этал-23Х имеет достаточно низкую начальную вязкость (1,4 Па·с), помимо этого, оно довольно неактивное (живучее) и может перерабатываться в течение более чем 5-ти часов.

Это существенно отличает отвердитель Этал-23Х от других аналогов, например Этал-45М (кривая 1 на рисунке 1), вязкость связующего с которым в комнатных условиях быстро возрастает и достигает 20 Па·с в течение 60 минут, после чего пропитка стеклопластика становится невозможной. Повышенная жизнеспособность отвердителя Этал-23Х открывает широкие возможности для его переработки, например при изготовлении стеклопластиков методом «мокрой» намотки.

Для проведения испытания на растяжение необходимо подготовить образцы по ГОСТ 11262-2017 (тип 2) [6]. Подготавливают навеску компонентов (смола ЭД-20, отвердитель), затем тщательно перемешивают вручную в течение 5 минут. Связующее заливают в подготовленные формы из фторопласта. Одновременно из одной порции заполняются: лопатки – для испытаний на растяжение, кубики со стороной 10 мм – для ТМА. Затем образцы извлекают из формы (рисунок 2) и подвергают механической обработке.



Рис.2 Образцы для проведения испытаний на растяжение после отверждения

Для определения механических свойств связующего с отвердителем Этал-23Х были изготовлены соответствующие образцы. Режимы отверждения изначально были приняты как для связующего с Этал-45М, так как эти отвердители аминной группы относят к отвердителям «холодного» отверждения, которые полимеризуются при комнатной температуре [13]. Однако вследствие низкой активности отвердителя Этал-23Х состав слишком медленно отверждается при комнатной температуре, образцы после 24 ч и 48 ч были хрупкие и имели слабую механическую прочность, которая не позволила извлечь их из формы. Поэтому был сделан вывод, что отвердитель Этал-23Х непригоден для изготовления композитов при комнатной температуре без дополнительной термообработки. После

отверждения в термошкафе в течение 4 ч при температуре 60 °С образцы были испытаны, результаты приведены в таблице 2.

Эти же образцы были еще дополнительно термообработаны при температуре 100 °С в течение 4 ч, прочность показана в таблице 2.

Следующая серия экспериментов была проведена с отверждением по «стандартному» режиму [13] (2 ч при комнатной температуре с термообработкой 4 ч при 60 °С). Результаты испытания показаны в таблице 2.

Табл. 2. Прочность при растяжении связующего с Этал-23Х

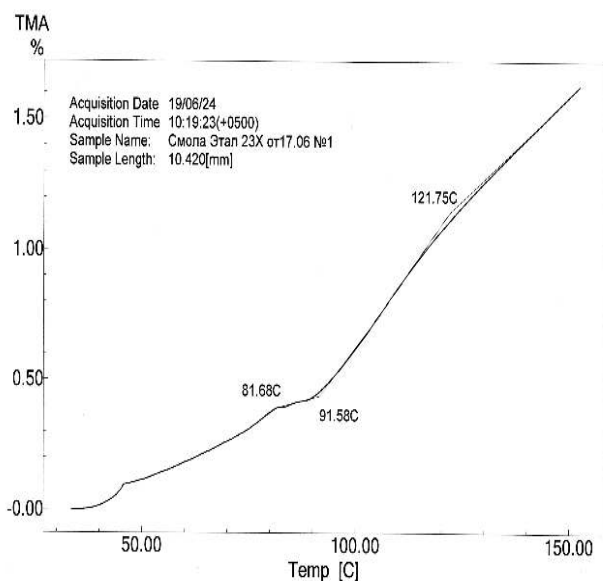
№ образца	Толщина, мм	Площадь, мм <sup>2</sup>	Сила при разрушении, кН	Прочность, МПа	Деформация, %
<b>Отверждение 2 сут при 23 °С + 4 ч при 60 °С</b>					
1	3,50	35,80	2,64	73,7	20,0
2	3,84	39,28	2,63	67,0	20,0
3	4,48	43,41	2,47	56,9	18,0
4	4,48	45,83	3,20	69,8	21,0
Среднее значение				66,8	19,7
<b>Отверждение 2 сут при 23 °С + 4 ч при 60 °С + 4 ч при 100 °С</b>					
1	3,50	35,88	2,23	62,1	18,5
2	3,70	37,89	2,04	53,8	20,0
3	3,68	37,54	2,25	59,9	17,5
4	4,00	40,80	2,42	59,3	16,5
Среднее значение				58,8	18,1
<b>Отверждение 2 ч при 23 °С + 4 ч при 60 °С</b>					
1	4,15	42,33	3,10	73,2	16,5
2	3,97	40,65	2,87	70,6	15,5
3	3,83	39,45	2,74	69,4	15,5
4	3,68	37,68	2,43	64,5	13,0
Среднее значение				69,4	15,0

В соответствии с полученными данными после отверждения при 60 °С, связующее имело достаточно хорошую прочность, не уступающую другим исследованным составам из этого же класса [2,13]. Дополнительная термообработка при температуре 100 °С приводит к небольшому понижению прочности, как было получено ранее для отвердителя Этал-45 в работе [13].

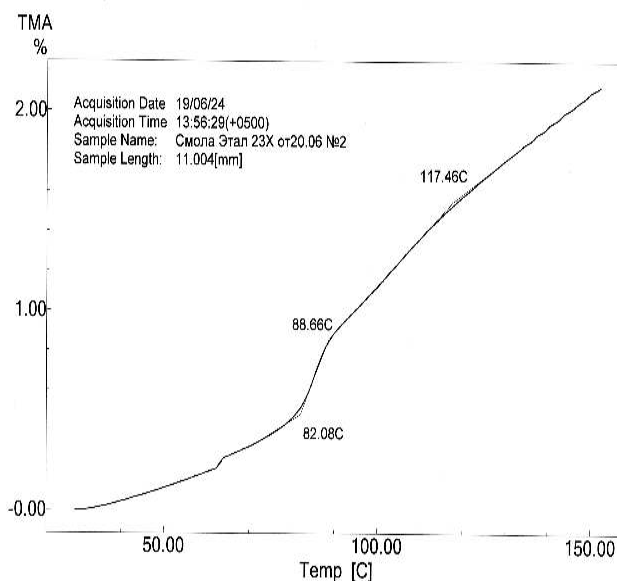
Для определения температуры стеклования методом ТМА использовали образцы связующего в виде кубиков размерами 10x10x10 мм. Испытания проводили по ГОСТ 32618.2-2014 на приборе ТМА-60.

При испытаниях использовался индентор диаметром 3 мм и площадью 7,065 мм<sup>2</sup>. Нагрев образцов осуществляли при скорости 2 °С/мин до 150 °С, в потоке воздуха 40 мл/мин.

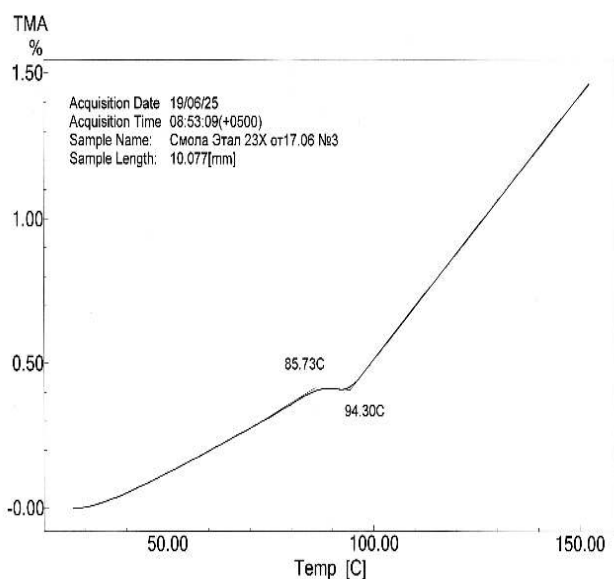
На рисунке 3 приведены типичные ТМА-кривые для образцов связующего, отвержденных при различных режимах.



а) отверждение по режиму 2 сут при 23 °C + 4 ч при 60 °C



в) отверждение по режиму 2 ч при 23 °C + 4 ч при 60 °C

**Рис. 3 ТМА-кривые образцов связующего с Этал-23Х, отвержденных при различных режимах**

б) отверждение по режиму 2 сут при 23 °C + 4 ч при 60 °C + 4 ч при 100 °C

Согласно рисунку 3 температура стеклования связующего с Этал-23Х, отвержденного по режиму 2 сут при 23 °C + 4 ч при 60 °C, составляет 87 °C (начало перегиба кривой при  $T = 81,7$  °C и окончание при  $T = 91,6$  °C). Дополнительная термообработка при 100 °C приводит к увеличению температуры стеклования до 90 °C (начало – 85,7 °C, окончание – 94,3 °C). Образец связующего, отвержденного по режиму 2 ч при 23 °C + 4 ч при 60 °C, показал величину температуры стеклования 85 °C (начало 82 °C, окончание 88,7 °C). Также на диаграмме появляется второй перегиб, характеризующий температуру стеклования – 117,5 °C (соответствующий перегиб наблюдается на рисунке 3а – 121,7 °C). Таким образом, несмотря на низкую активность отвердителя Этал-23Х, состав показал удовлетворительную теплостойкость после отверждения.

Проведены исследования степени полимеризации связующего методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) образцов связующего отвержденного при режиме (2 ч при 23 °C + 4 ч при 60 °C). ДСК-диаграмма образца связующего приведена на рисунке 4.

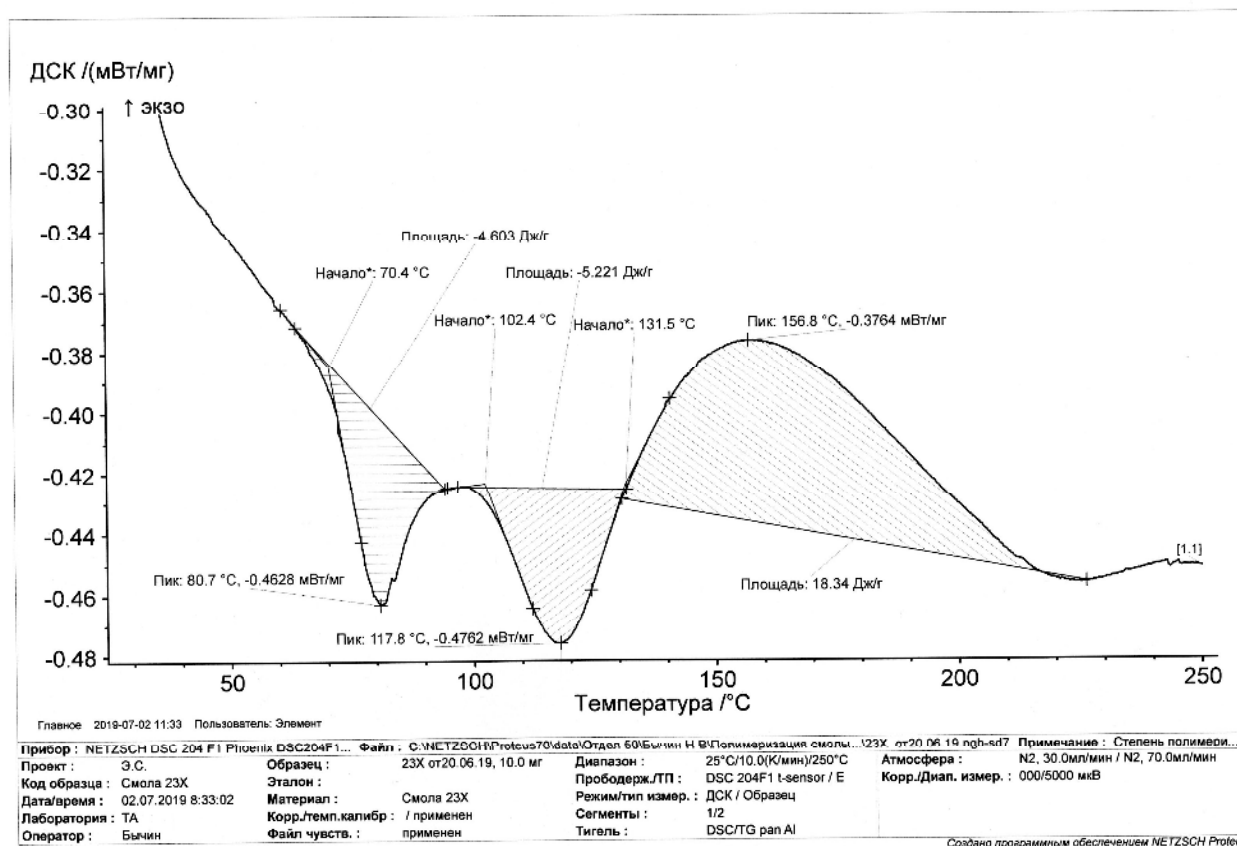


Рис.4 ДСК-диаграмма связующего на основе отвердителя Этал-23Х отвержденного по режиму 2 ч при 23 °С + 4 ч при 60 °С

Площадь экзотергического эффекта, характеризующего степень отверждения – 18,3 Дж/г – мала, что согласуется с данными для отверждения Этал-45М [13]. Степень полимеризации составляет 93-95 %. Два пика на кривой ДСК – при 80,7 °С и 117,8 °С, характеризуют температуру стеклования связующего и соответствуют данным, полученным методом ТМА (рисунок 3в).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований реологических свойств образцов связующего на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя Этал-23Х установлено, что оно имеет низкую начальную вязкость (1,4 Па·с), высокую жизнеспособность и может перерабатываться более чем 5 часов. Связующее имеет достаточно хорошую прочность после отверждения 4 ч при 60 °С (69,4 МПа), не уступающую другим составам из этого же класса. Дополнительная термообработка при температуре 100 °С приводит к небольшому понижению прочности.

В результате определения теплостойкости связующего методом ТМА выяснено, что температура стеклования возрастает при увеличении времени и температуры выдержки: 85 °С для режима отверждения 2 ч при 23 °С + 4 ч при 60 °С; 87 °С для

режима 2 сут при 23 °С + 4 ч при 60 °С и 90 °С для режима 2 сут при 23 °С + 4 ч при 60 °С + 4 ч при 100 °С. Таким образом, несмотря на низкую активность отвердителя Этал-23Х, состав показал удовлетворительную теплостойкость после отверждения по рекомендуемому ранее режиму с Этал-45М.

Методом ДСК определена степень полимеризации 93-95 % образцов связующего отвержденного при режиме (2 ч при 23 °С + 4 ч при 60 °С), и температура стеклования – 80,7 °С и 117,8 °С, что соответствует результатам ТМА.

Таким образом, на основе результатов исследований связующего с отвердителем Этал-23Х можно заключить, что по физико-механическим, термомеханическим свойствам оно сопоставимо со связующим на основе Этал-45М, и превосходит их.

*Работа выполнена при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Эпоксидные материалы «ЭПИТАЛ» [Электронный ресурс] <http://www.epital.ru/hardeneres/e23x.html>.

2. Самойленко, В.В. Исследование реологических и физико-механических свойств связующих на основе отвердителей JL-19, Изофорондиамин и Джеффамин D-230 / В.В. Самойленко, В.В. Фирсов, А.Н. Блазнов, З.Г. Сакошев // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 2 (30). С. 113-117.
3. ГОСТ 32618.2-2014. Пластмассы. Термомеханический анализ (ТМА). Часть 2. Определение коэффициента линейного теплового расширения и температуры стеклования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
4. Чуднов И.В. Особенности исследования гибридных полимерных связующих методом дифференциальной сканирующей калориметрии / И.В. Чуднов, Э.Ш. Ахметова, Г.В. Малышева // Материаловедение. – 2013. – № 5. – С. 22-25.
5. ISO 11357-2:1999. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (DSC). Часть 5. Определение характеристических температур и времени по кривым реакции, определение энтальпии реакции и степени превращения.
6. ГОСТ Р 57687-2017 Пластмассы. Эпоксидные смолы. Определение степени отверждения эпоксидных смол с применением дифференциальной сканирующей калориметрии. – М.: Стандартинформ, 2017. – 12 с.
7. ГОСТ Р 55135-2012 (ISO 11357-2:1999). Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 2. Определение температуры стеклования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 8 с.
8. Атясова Е.В. Исследование теплостойкости композитов с разной степенью отверждения / Е.В. Атясова, А.Н. Блазнов, И.К. Шундрин, В.В. Самойленко, В.В. Фирсов, С.С. Гребнев, И.А. Родионов // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4. – Т.1 – С. 229-235.
9. Blaznov A.N. Thermomechanical characterization of BFRP and GFRP with different degree of conversion / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, I.K. Shundrina, V.V. Samoilenko, V.V. Firsov, A.S. Zubkov // Polymer Testing. – 2017. – Vol. 60. – P. 49-57.
10. Блазнов А.Н. Исследование процесса отверждения связующего на основе эпоксидной смолы и отвердителя Этал-45 / А.Н. Блазнов, Н.В. Бычин, М.Е. Журковский // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (22–24 мая 2019 года, г. Бийск) /

Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2019. – С. 300-303.

11. ГОСТ 25276-82. Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определении скорости сдвига. – М.: Издательство стандартов, 1982.

12. ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

13. Блазнов, А.Н. Исследование физико-механических свойств связующего на основе отвердителя Этал-45М / А.Н. Блазнов, М.Е. Журковский, В.В. Фирсов, В.В. Самойленко, Н.В. Бычин, Е.В. Атясова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 3(27). – С. 100-107.

*Блазнов Алексей Николаевич – д.т.н., доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305882, e-mail: blaznov74@mail.ru.*

*Самойленко Вячеслав Владимирович – к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Журковский Максим Евгеньевич – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Фирсов Вячеслав Викторович – ведущий инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Бычин Николай Валерьевич – старший научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Атясова Евгения Владимировна – к.т.н., ведущий инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: zheneska0112@mail.ru.*

*Сакошев Захар Германович – инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: fak1\_00@mail.ru*

# CHARACTERIZATION OF EPOXY BINDER BASED ON ETHAL-23X CURING AGENT

**A.N. Blaznov, V.V. Samoilenko, M.E. Zhurkovsky, V.V. Firsov, N.V. Bychin, E.V. Atyasova, Z.G. Sakoshev**

*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk*

**Abstract**—Here we examined an epoxy binder based on ED-20 resin and Ethal-23X curing agent. This study aimed to explore rheological, physicochemical and thermomechanical properties of the binder specimens cured at different regimes. The viscosity and the variation in viscosity of the binder were measured on a rotational viscometer. The glass transition temperature was determined by the TMA technique as per GOST R 32618.2-2014; the degree of polymerization and glass transition temperature were measured by the DSC technique as per GOST R 57687-2017 and GOST R 55135-2012, respectively; the tensile strength was determined pursuant to GOST R 11262-2017. The rheological study of the binder demonstrated that it had a low initial viscosity (1.4 Pa·s); the binder was low-active at room temperature and could be processed for about 5 h. The tensile test results of the binder specimens showed that they had a fairly good strength after 4-h curing at 60 °C (69.4 MPa) being not inferior to other formulations of the same class. Additional thermal treatment at 100 °C slightly decreased the strength (down to 58.8 MPa). The glass transition temperature increased from 85 °C to 90 °C with increasing time and residence temperature (from 60 °C to 100 °C), respectively. The degree of polymerization of the binder specimens, as measured by DSC, was 93-95 % and the glass transition temperature was 80 °C, which is consistent with the TMA data. Thus, the recommended curing regime (2 h at 23 °C + 4 h at 60 °C) provides an optimum combination of physicochemical and thermomechanical properties of the binder with Ethal-23X hardener, which is as good as a cold-cure binder.

*Index terms:* epoxy binders, amine hardener Ethal-23X, Ethal-45M, TMA, DSC, strength, tension, glass transition temperature, curing, degree of polymerization

## REFERENCES

1. Epoxy materials Epithal [Electronic resource] <http://www.epital.ru/hardeneres/e23x.html>.
2. Samoilenko, V.V. A study of rheological and physicochemical properties of binders based on curing agents L-19, Isophorondiamine and Jeffamine D-230 / V.V. Samoilenko, V.V. Firsov, A.N. Blaznov, Z.G. Sakoshev // South-Siberian Scientific Bulletin. – 2020. – № 2 (30). С. 113-117. (rus)
3. GOST R 32618.2-2014. Plastics. Thermomechanical analysis (TMA). Part 2. Determination of thermal expansion linear coefficient and glass transition temperature. – M.: Standartinform, 2014. – 12 p. (rus)
4. Chudnov I.V. Features of the study of hybrid polymeric binders by differential scanning calorimetry / I.V. Chudnov, E.Sh. Akhmetova, G.V. Malysheva // Materialovedeniye. – 2013. – No. 5. – p. 22-25. (rus)
5. ISO 11357-2:1999. Plastics. Differential scanning calorimetry (DSC). Part 5. Determination of characteristic temperature and time from reaction curves; determination of reaction enthalpy and degree of conversion. (rus)
6. GOST R 57687-2017 Plastics. Epoxy resins. Determination of curing degree of epoxy resins by differential scanning calorimetry. – M.: Standartinform, 2017. – 12 p. (rus)
7. GOST R 55135-2012 (ISO 11357-2:1999). Plastics. Differential scanning calorimetry (DSC). Part 2. Determination of glass transition temperature. – M.: Standartinform, 2014. – 8 p. (rus)
8. Atyasova E.V. A study of heat resistance of composites with different curing degree / E.V. Atyasova, A.N. Blaznov, I.K. Shundrina, V.V. Samoilenko, V.V. Firsov, S.S. Grebnev, I.A. Rodionov // Polzunovskiy Vestnik. – 2016. – No. 4. – V.1 – p. 229-235. (rus)
9. Blaznov A.N. Thermomechanical characterization of BFRP and GFRP with different degree of conversion / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, I.K. Shundrina, V.V. Samoilenko, V.V. Firsov, A.S. Zubkov // Polymer Testing. – 2017. – V. 60. – P. 49-57.
10. Blaznov A.N. A study of curing process of a binder based on epoxy resin and Ethal-45 curing agent / A.N. Blaznov, N.V. Bychin, M.E. Zhurkovsky // Technologies and Equipment of Chemical, Biotechnological and Food Industries: Proceedings of XII All-Russian Scientific-Practical Conference for Students, Postgraduates and Young Scientists with international participation (22–24 May 2019, Biysk) / AltSTU, BTI. – Biysk: AltSTU Press, 2019. – P. 300-303. (rus)
11. GOST R 25276-82. Polymers. A method for the determination of viscosity by rotational viscometer while determining shear rate. – M.: Izdatelstvo Standartov, 1982. (rus)
12. GOST R 11262-2017 (ISO 527-2:2012). Plastics. A tensile test method. – M.: Standartinform, 2018. – 20 p. (rus)
13. Blaznov, A.N. A study of physicochemical behavior of a binder based on Ethal-45M curing agent / A.N. Blaznov, M.E. Zhurkovsky, V.V. Firsov, V.V. Samoilenko, N.V. Bychin, E.V. Atyasova // South-Siberian Scientific Bulletin. – 2019. – No.3(27). – p. 100-107. (rus)

*Blaznov Aleksey Nikolayevich – Dr. (Engin.), Assoc. Prof., Chief of the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305885, e-mail: blaznov74@mail.ru.*

*Samoilenko Vyacheslav Vladimirovich – Cand. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Zhurkovsky Maksim Evgenievich – postgraduate, Junior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Firsov Vyacheslav Viktorovich – Lead Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Bychin Nikolay Valeryevich – Senior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [labmineral@mail.ru](mailto:labmineral@mail.ru)*

*Atyasova Evgenia Vladimirovna – Cand. Sci. (Engin.), Lead Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [zhenecka0112@mail.ru](mailto:zhenecka0112@mail.ru).*

*Sakoshev Zakhar Germanovich – Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [fakl\\_00@mail.ru](mailto:fakl_00@mail.ru)*