

● НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

Кушнарев Л.И. К проблеме повышения конкурентоспособности отечественной техники 3

● ПРАКТИКА РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ

Скрябин В.А. Технология ремонта деталей металлизацией напылением 7

● РВМ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Звонцов И.Ф., Серебrenицкий П.П., Тетенькин А.С. Основные направления внедрения аддитивных технологий в ремонтное производство вооружения и военной техники 12

● НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Ермилова Е.Ю., Камалова З.А., Рахимов Р.З., Стоянов О.В., Хузин А.Ф., Гилязутдинова Р.Р., Маннанова А.М. Исследование кинетики тепловыделения композиционного портландцемента с индивидуальными и комплексными добавками термоактивированных глин и карбонатов и их термоактивированных смесей 15

● ОБЩИЕ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Тимирязев В.А., Схиртладзе А.Г., Агеева В.Н., Мишин Ю.В. Автоматизированное проектирование станочных приспособлений в ремонтном производстве 19

Безбородов И.А. Определение требуемой прочности сцепления напыляемых покрытий для восстановления шеек коленчатых валов ДВС разной мощности. 22

Нелюб В.А., Бородулин А.С. Реокинетические свойства эпоксидных связующих, предназначенных для изготовления и ремонта труб из стеклопластиков. 28

Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Липчанская Ю.Г. Динамика перемешивания пылевидных частиц в холодильнике вращающейся печи с продуваемым воздушным потоком. 36

Измайлова Д.К., Селиверстов Н.Д. Особенности расчета себестоимости единицы перерабатываемого дорожного покрытия 39

Колобовникова Д.И., Майданюк Е.П., Петровский Э.А. Автоматизированная система управления гидравлической платформой при центровке валов приводов машин ... 43

Реокинетические свойства эпоксидных связующих, предназначенных для изготовления и ремонта труб из стеклопластиков

В.А. НЕЛЮБ, канд. техн. наук, А.С. БОРОДУЛИН
 МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
 E-mail: asb@emtc.ru

Изучены технологические свойства эпоксидных композиций на основе ХТ-711 (ЭХД) и D.E.R. 330. Показано, что связующие на основе ХТ-711 (ЭХД) и отвердителя изо-МТГФА обладают меньшей (на 40—50%) вязкостью по сравнению с композициями D.E.R. 330 и отвердителей D.E.H. 650 или Polyrox IPD. Связующие на основе смолы ХТ-711, модифицированной термостойкими термопластами, имеют вязкость на уровне немодифицированных композиций при температуре 50 °С. Эпоксидные связующие на основе смолы ХТ-711 при температуре 80 °С обладают более высокой жизнеспособностью по сравнению с композициями на основе D.E.R. 330. При такой температуре отверждение систем на основе ХТ-711 (ЭХД) начинается при 190—280 мин, D.E.R. 330 — при 5—40 мин.

Ключевые слова: эпоксидные связующие, реологические свойства, модифицирование, технологические свойства.

The technological properties of epoxy compositions based on XT-711 and D.E.R. 330 have been studied. It was found out that the binders based on XT-711 and iso-methyltetrahydrophthalic anhydride hardener had a lower viscosity (40—50%) than those of D.E.R. 330 and hardener D.E.H. 650 or Polyrox IPD. The binders based on XT-711 resin modified with heat-resistant thermoplastics had a viscosity value at the level of unmodified compositions at temperature of 50 °C. The epoxy binder based on XT-711 resin at temperature of 80 °C had a higher pot life than the compositions based on D.E.R. 330. At this temperature, curing the systems based on XT-711 began at 190—280 min., D.E.R. 330 — at 5—40 minutes. The selected modes of curing the epoxy binders ensure their complete polymerization.

Keywords: epoxy binder, rheological properties, modification, technological properties.

Современные высокопроизводительные технологии изготовления и ремонта труб из стеклопластиков в значительной степени зависят от реологических и реокинетических свойств связующих [1, 2]. Вязкость таких композиций, применяемых для производства армированных пластиков (например намоткой), не превышают 3—6 Па·с, в то время как наиболее распространенные эпоксидные смолы обладают вязкостью выше 15 Па·с. Для достижения требуемой вязкости композиции, как правило, подбирают температуру переработки. Однако при повышении температуры снижается их жизнеспособность. Следует отметить, что большинство композиционных материалов на основе эпоксидных матриц не удовлетворяют возрастающим требованиям к трещино- и ударостойкости и устойчивости к агрессивным средам [3, 4]. Один из путей решения этих проблем — модифицирование эпоксидных матриц термостойкими термопластами [5, 6]. Многократное увеличение вязкости приводит к появлению дефектов структуры и, как следствие, к ухудшению качества [2, 7]. В процессе получения композиционного мате-

риала вязкость смесей реактопласт—термопласт может меняться вследствие отверждения связующего или при его фазовом распаде [7—10], что в конечном итоге накладывает существенные ограничения на температурные и временные параметры технологического процесса. В настоящей работе проведено комплексное исследование эпоксидных композиций, в том числе модифицированных термопластами, в результате которого определены температурные и временные диапазоны их переработки.

Материалы и методы исследований

Для проведения исследований использовали эпоксидные связующие ХТ-711 (ЭХД) (Химекс Лиметед, Россия) и D.E.R. 330 (Dow Chemical Company). В качестве отвердителей использовали ароматический амин D.E.H. 650 (Dow Chemical Company) и циклоалифатический диамин Polyrox IPD (Dow Chemical Company) для D.E.R. 330 и изо-метилтетрагидрофталевоый ангидрид (изо-МТГФА) для ХТ-711. Соотношение эпоксидной смолы и отвердителя D.E.H.

650 составляло 100 м. ч. на 26 м. ч., D.E.R. 330, Polyrox IPD 100 м. ч. на 24 м. ч., изо-МТГФА 100 м. ч. на 100 м. ч. В качестве модификаторов композиции ХТ-711 + изо-МТГФА использовали полисульфон ПСК-1 (НИИ ПМ, Россия) или полиэфиримид Ultem-1010 (GE Plastics). Теплоустойчивые полимеры ПСК-1 и Ultem-1010 растворяли в эпоксидной смоле ХТ-711 при температуре 100–120 °С в течение 2–5 ч при непрерывном перемешивании. Содержание ПСК-1 и Ultem-1010 составляло 10% (масс.) от общей массы композиции. Далее связующее охлаждали до температуры 60–80 °С и добавляли отвердитель изо-МТГФА.

Определение технологических параметров связующих включало в себя исследование реологических свойств эпоксидных композиций и определение времени гелеобразования. Вискозиметрические испытания проходили в два этапа. Первый включал в себя сравнительные исследования вязкости связующих с отвердителями и без них при разных температурах. Второй — в определении момента времени резкого нарастания вязкости при фиксированных температурах, вызванного структурной перестройкой материала вследствие отверждения (жизнеспособность).

Измерение вязкости и жизнеспособности эпоксидных композиций проводили с помощью вискозиметра Brookfield-LV с измерительной ячейкой «конус—плоскость». Каждый образец эпоксидных композиций испытывали в широком диапазоне скоростей сдвига $\dot{\gamma}$ от 70 до 240 с⁻¹. Для проведения испытаний при температурах выше комнатной использовали тер-

мостат LOIPLT 200. Температура измерения составляла от 25 до 75 °С. Для каждой системы проводили не менее трех измерений вязкости η . Полученные значения η усредняли. Определение жизнеспособности связующих происходило при постоянной скорости сдвига $\dot{\gamma}$ (100 с⁻¹) и постоянной температуре 80 °С. Такая температура была выбрана как предельная при переработке исследованных связующих. Она соответствует температуре первой стадии отверждения.

Определение теплоты, температурных пиков реакции отверждения и степени отверждения проводили на дифференциальном сканирующем калориметре Netzsch DSC 204 F1 Phoenix. Температуру изменяли в диапазоне от 25 до 300 °С, со скоростью нагрева 5 К/мин в среде аргона. Для определения степени отверждения использовали три типа образцов. Первый тип образцов — это неотвержденная эпоксидная композиция, второй тип — эпоксидная композиция, отвержденная по выбранному режиму. Дополнительно первый тип образцов после первого нагрева охлаждали и подвергали второму нагреву для определения температуры стеклования. Такие образцы принимали за полностью отвержденные.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 показаны кривые вязкости для эпоксидных смол D.E.R. 330 и ХТ-711 (ЭХД) при разных температурах. Видно, что эпоксидные композиции во всем диапазоне скоростей сдвига и температур ведут себя как ньютоновская жидкость, т.е. вязкость не меняется с ро-

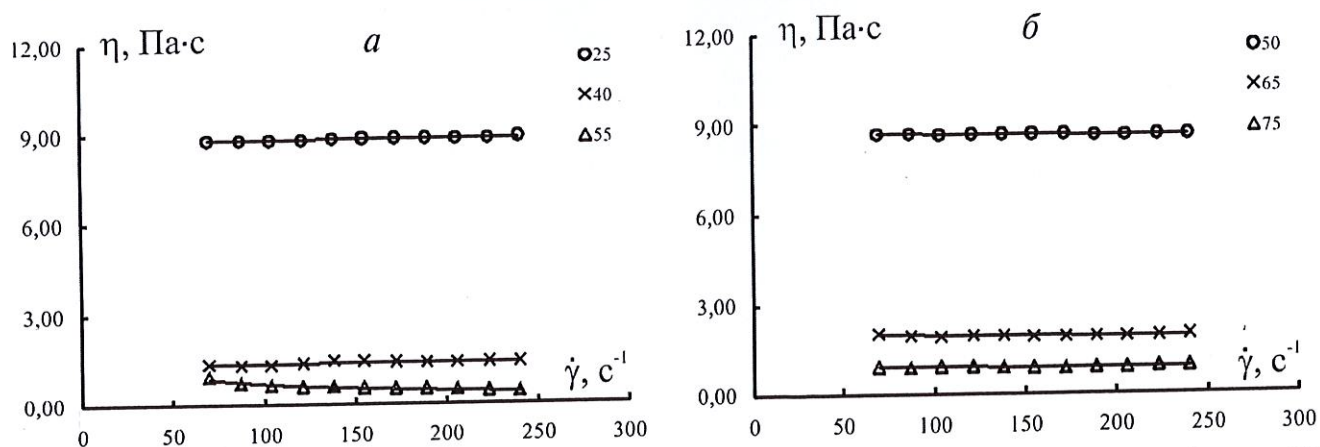


Рис. 1. Зависимость вязкости η эпоксидной смолы D.E.R. 330 от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ при разных температурах. Температуры обозначены на графике

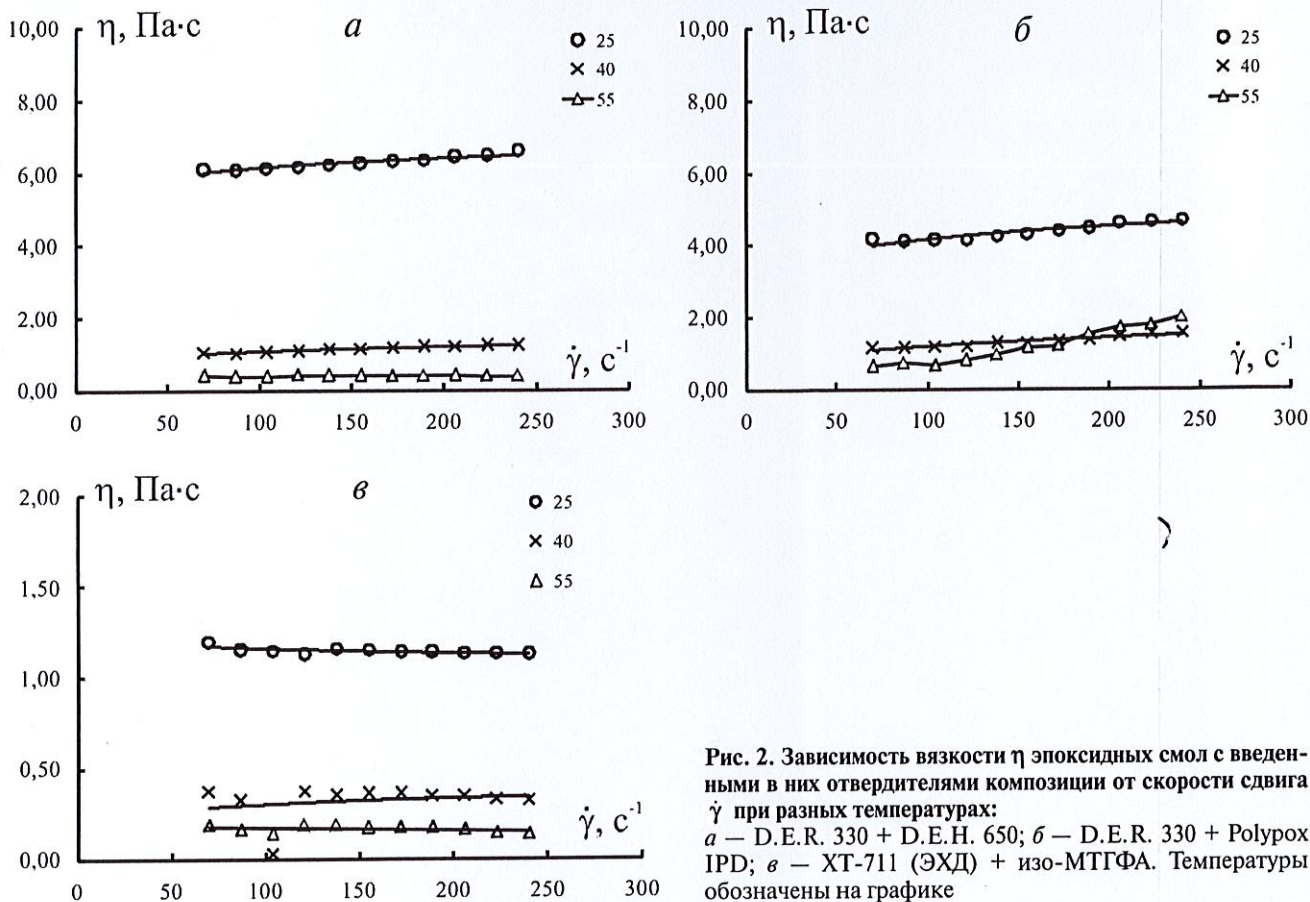


Рис. 2. Зависимость вязкости η эпоксидных смол с введенными в них отвердителями композиции от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ при разных температурах: а — D.E.R. 330 + D.E.H. 650; б — D.E.R. 330 + Polyrox IPD; в — XT-711 (ЭХД) + изо-МТГФА. Температуры обозначены на графике

стом скорости сдвига. При увеличении температуры происходит заметное снижение вязкости. При введении в эпоксидные композиции отвердителей характер течения связующих практически не меняется (рис. 3). Тенденция к увеличению вязкости для систем на основе D.E.R. 330 связана с тем, что при измерении идет процесс отверждения. Особенно это заметно при повышенных температурах.

Более наглядно изменение вязкости от температуры для эпоксидных связующих представлено в табл. 1. Эпоксидная смола D.E.R. 330 обладает меньшей вязкостью по сравнению со смолой XT-711. Особенно это заметно при низких температурах. Однако при температурах выше 50 °C вязкость смолы XT-711 мало отличается от вязкости D.E.R. 330. Таким образом, можно предположить, что температурная об-

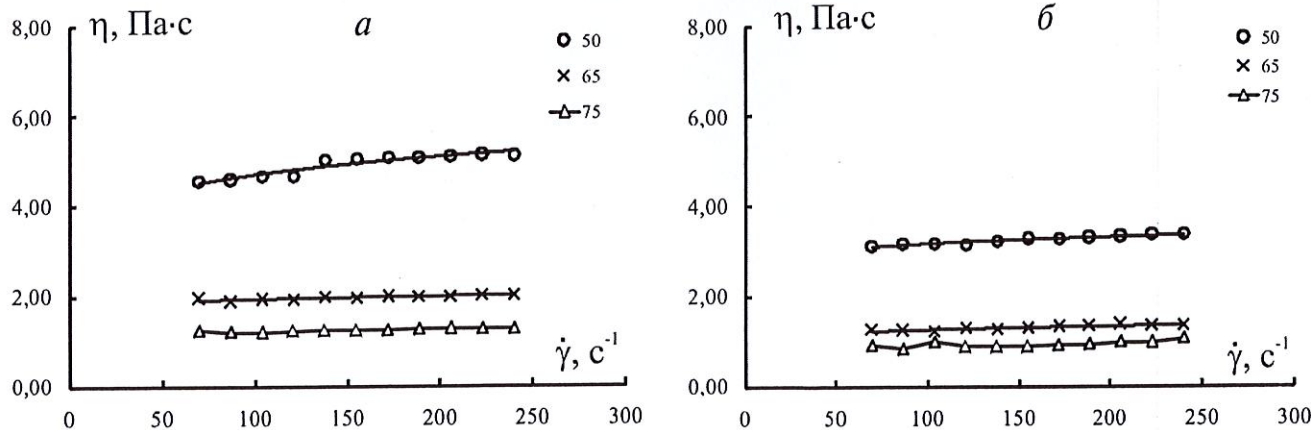


Рис. 3. Зависимость вязкости η композиции XT-711 + изо-МТГФА, модифицированной 10% (масс.) полисульфона (а) ПСК-1 или полиэфиримида (б) Ultem-1010 от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ при разных температурах

ласть переработки смолы ХТ-711 лежит на 25 °С выше, чем у смолы D.E.R. 330. При введении в эпоксидную смолу D.E.R. 330 отвердителя D.E.H. 650 вязкость композиции снижается на 20—30% в зависимости от температуры. Отвердитель Polyrox IPD уменьшает вязкость D.E.R. 330 от 10 до 100%. Еще большее снижение вязкости происходит при введении в ХТ-711 отвердителя изо-МТГФА. В этом случае вязкость композиции при 50 °С может падать в 10 раз по сравнению с исходной смолой. Следует отметить, что вязкость композиции ХТ-711 + изо-МТГФА ниже на 60—90% в зависимости от температуры по сравнению со связующими на основе D.E.R. 330. Выше было отмечено, что температурная область переработки ХТ-711 лежит выше на 25 °С, чем область для D.E.R. 330. При введении отвердителей температурные области переработки исследованных композиций совпадают, т.е. все исследованные композиции могут успешно перерабатываться при температурах от 25 до 55 °С. Однако при введении в композицию ХТ-711 + изо-МТГФА термостойких термопластов вязкость повышается в несколько раз. В результате значения η , приемлемые для переработки, достигаются при температурах выше 50 °С. Следует отметить, что вязкость композиций, содержащих термопласты, при температуре 65—75 °С сопоставима с вязкостью базовых композиций при температурах 40—55 °С. Таким образом, повышение температуры на 25 °С позволит перерабатывать более вязкие связующие с повышенными эксплуатационными свойствами.

1. Вязкость эпоксидных композиций при разных температурах, Па·с

Композиция	Т, °С					
	25	40	50	55	65	75
Эпоксидная смола D.E.R. 330	8,84	1,41	—	0,53	—	—
Эпоксидная смола ХТ-711 (ЭХД)	—	—	8,63	—	1,95	0,86
D.E.R. 330 + D.E.H. 650	6,27	1,14	—	0,41	—	—
D.E.R. 330 + Polyrox IPD	4,31	1,28	—	1,14	—	—
ХТ-711 + изо-МТГФА	1,16	0,36	—	0,17	—	—
ХТ-711 + изо-МТГФА + ПСК-1	5,05	1,97	—	1,23	—	—
ХТ-711 + изо-МТГФА + Ultem-1010	3,25	1,30	—	0,88	—	—

Рис. 4 и 5 иллюстрируют изменение вязкости эпоксидных связующих во времени в процессе отверждения при температуре 80 °С. Видно, что для разных типов отвердителей момент резкого нарастания вязкости наступает в разное время. При введении в D.E.R. 330 ароматического полиамина D.E.H. 650 наблюдается плавный рост вязкости композиции в процессе отверждения в течение 30—40 мин (см. рис. 4). Далее вязкость композиции растет с гораздо большей скоростью. При отверждении эпоксидной смолы циклоалифатическим диамином Polyrox IPD практически сразу происходит увеличение вязкости. Композиция, состоящая из смолы ХТ-711 и ангидридного отвердителя изо-МТГФА, проявляет гораздо большую жизнеспособность, чем связующие на основе смолы D.E.R. 330. В этом случае вязкость практически не меняется в течение трех часов. При введении термостойких термопластов в композицию ХТ-711 + изо-МТГФА (см. рис. 5) во время выдержки происходит рост вязкости, затем ее падение практически до исходного уровня. Для композиции, модифицированной полисульфоном ПСК-1, этот момент наступает через 90 мин, для Ultem-1010 — через 40 мин. Такое увеличение вязкости до момента гелеобразования, как правило, связывают с фазовым распадом эпоксиполимерной смеси. При этом в эпоксидной смоле образуется дисперсная фаза термопластичного полимера, способная увеличить вязкость композиции. Однако под воздействием сдвиговых напряжений в процессе измерения вязкости происходит упорядочивание вновь образовавшейся фазы, что приводит к некоторому снижению вязкости. Далее вязкость систем практически не меняется до момента начала гелеобразования, характеризующегося резким увеличением значения η . Более наглядно жизнеспособность исследованных эпоксидных композиций представлена в табл. 2. Так, композиции на основе D.E.R. 330 характеризуются сравнительно небольшими (40 мин для системы D.E.R. 330 + D.E.H. 650 и 5 мин для D.E.R. 330 + Polyrox IPD) временами до момента их твердения. Эпоксидная смола ХТ-711, отверждаемая изо-МТГФА, сохраняет свою жизнеспособность 280 мин. Это может позволить изготавливать массивные или сложные изделия, требующие длительных операций. Жизнеспособность эпоксидной смолы ХТ-711,

модифицированной полисульфоном или полиэфиримидом, на 90 мин меньше, чем у исходной. Однако время до момента гелеобразования значительно выше, чем у связующих на основе D.E.R. 330, и составляет 190 мин.

На рис. 6 показаны термограммы ДСК неотвержденных композиций на основе эпоксидных смол. Видно, что для всех исследо-

ванных систем процесс отверждения проходит в одну стадию. Отверждение связующих D.E.R. 330 + D.E.H. 650 и D.E.R. 330 + Polyrox IPD начинается при температуре около 50 °С и заканчивается при 200–220 °С. Композиция на основе смолы ХТ-711 и отвердителя изо-МТГФА начинает отверждаться при температуре 100–120 °С. При этом процесс заканчи-

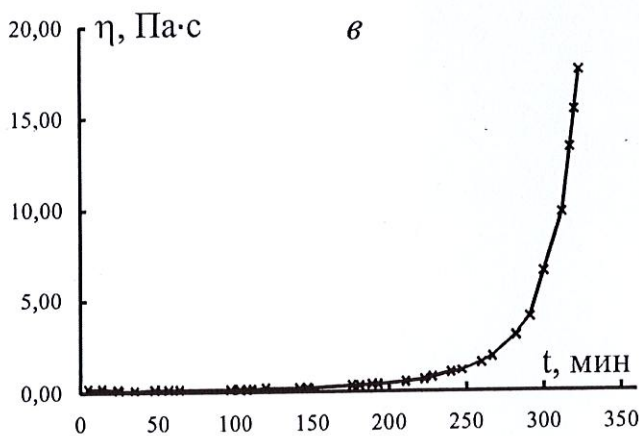
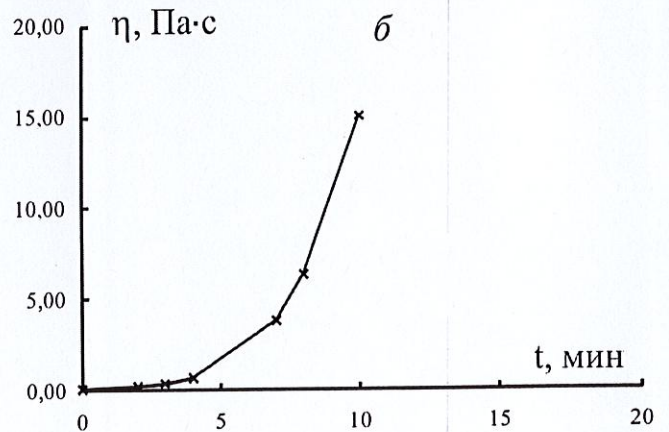
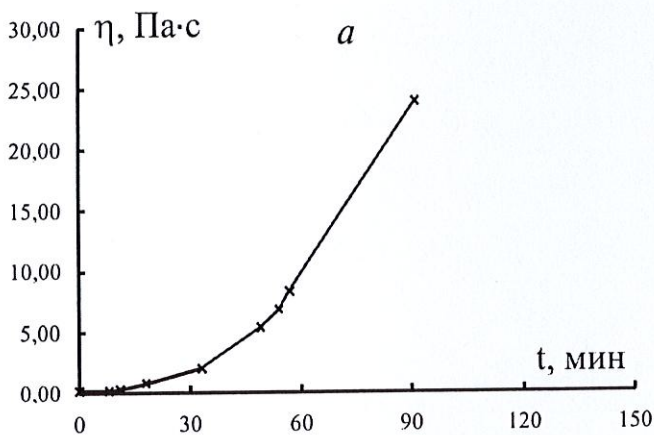


Рис. 4. Влияние времени t на вязкость η эпоксидных связующих при температуре 80 °С:
 а — D.E.R. 330 + D.E.H. 650; б — D.E.R. 330 + Polyrox IPD; в — ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА

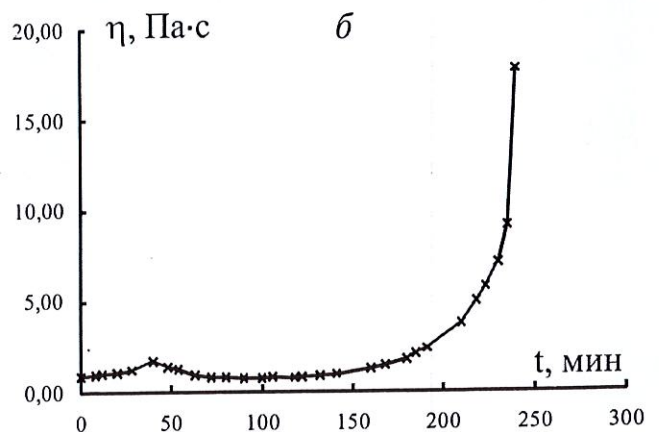
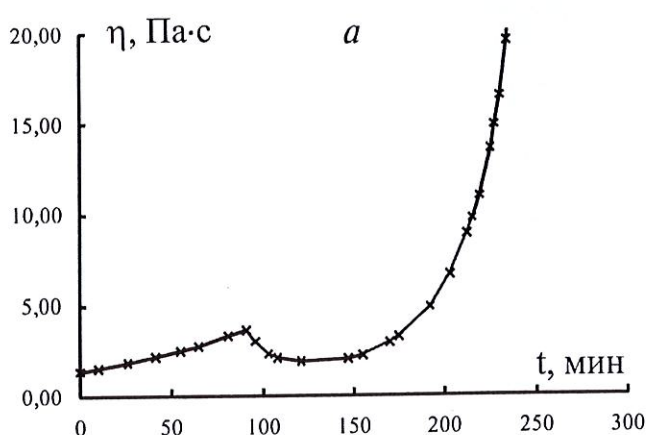


Рис. 5. Влияние времени t на вязкость η эпоксидного связующего ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА, модифицированного 10% (масс.) полисульфона (а) ПСК-1 или полиэфиримида (б) Ultem-1010 при температуре 80 °С

2. Жизнеспособность эпоксидных композиций при температуре 80 °С

Композиция	Жизнеспособность, мин
D.E.R. 330 + D.E.H. 650	40
D.E.R. 330 + Polyrox IPD	5
ХТ-711 + изо-МТГФА	280
ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА + ПСК-1	190
ХТ-711 + изо-МТГФА + Ultem-1010	190

вается при 260 °С. Введение термопластичных полимеров практически не оказывает влияния на температуру начала и окончания полимеризации связующего. Таким образом, можно предположить, что предложенная композиция ХТ-711 + изо-МТГФА обладает большим потенциалом по сравнению с эпоксидными связующими на основе D.E.R. 330 при подборе технологических параметров, например темпера-

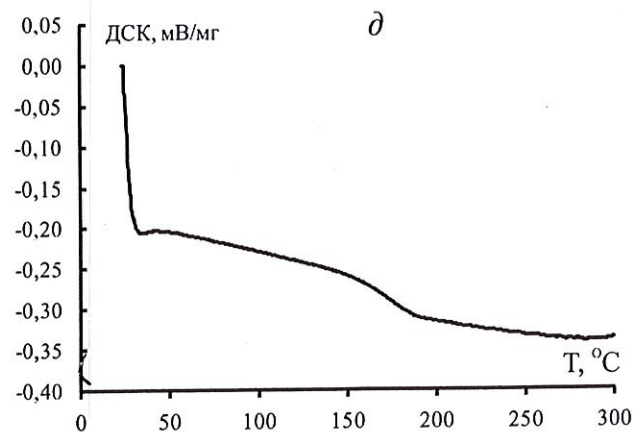
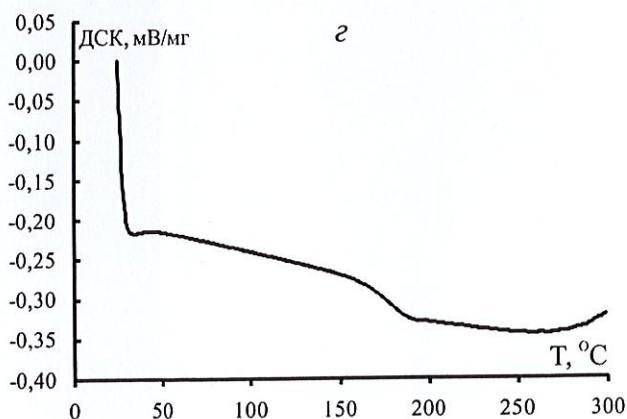
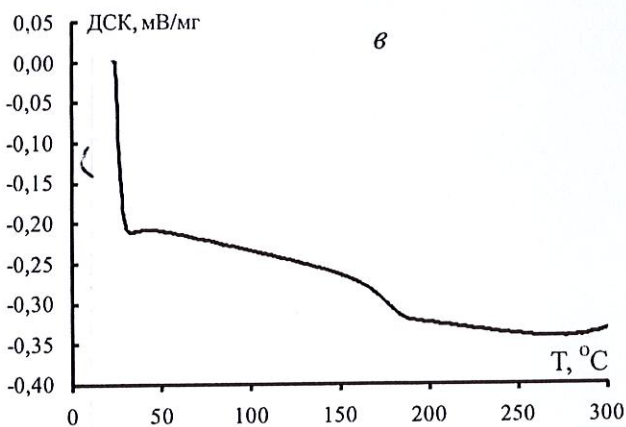
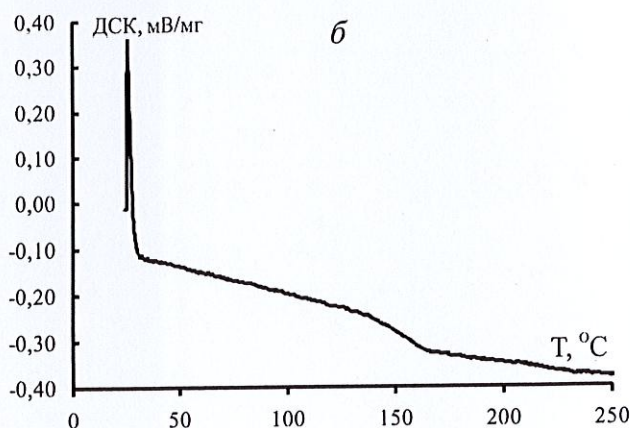
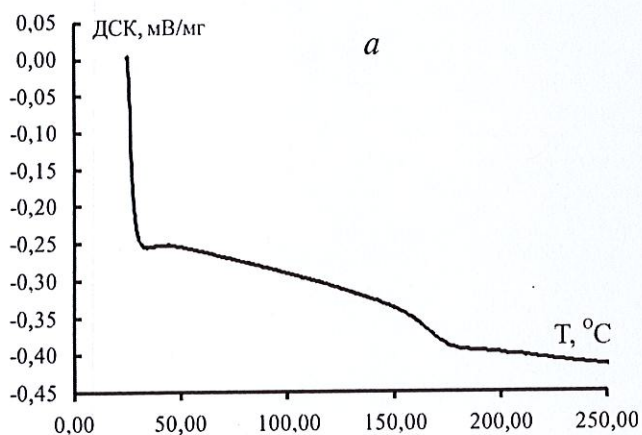


Рис. 6. Термограммы ДСК отвержденных образцов эпоксидных систем:
 а — D.E.R. 330 + D.E.H. 650; б — D.E.R. 330 + Polyrox IPD; в — ХТ-711 (ЭХД) + изо — МТГФА; г — ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА + ПСК-1; д — ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА Ultem-1010

3. Результаты ДСК исследований неотвержденных эпоксидных связующих и эпоксидных матриц

Композиция	Теплота реакции отверждения, Дж/г	T _{нач} , °C	T _{кон} , °C	T _{пик} , °C	T _g , °C
D.E.R. 330 + D.E.H. 650	498	50	228	154	174
D.E.R. 330 + Polyrox IPD	427	73	193	118	158
ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА	301	140	255	195	181
ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА + ПСК-1	248	140	258	195	189
ХТ-711 (ЭХД) + изо-МТГФА Ultem-1010	236	140	260	193	171

туры и как следствие вязкости. При повторном нагреве эпоксидных композиций теплового эффекта не наблюдалось. При этом на термограмме ДСК присутствовал перегиб, соответствующий температуре стеклования полимера. Более подробно данные, описывающие температуру стеклования, тепловую энергию реакции и температурный пик реакции, показаны в табл. 3.

Эпоксидная смола D.E.R. 330, отверждаемая ароматическим амином D.E.H. 650 или циклоалифатическим диамином Polyrox IPD, имеет достаточно высокую теплоту реакции отверждения, которая составляет 498 и 427 Дж/г соответственно. Эпоксидная смола ХТ-711, отверждаемая изо-МТГФА, характеризуется меньшей (301 Дж/г) теплотой реакции отверждения. Введение в систему ХТ-711 + изо-МТГФА теплоустойчивых термопластов снижает тепловой эффект реакции на ~20%. Следует отметить, что тепловой эффект реакции отверждения связующих на основе D.E.R. 330 на 30–40% выше, чем у композиции ХТ-711 + изо-МТГФА. Вероятно, что при изготовлении крупногабаритных изделий на основе ХТ-711 + изо-МТГФА саморазогрев в процессе термообработки будет значительно ниже, что положительно скажется на физико-механических и эксплуатационных характеристиках конечного изделия. Температурные пики реакции отверждения для композиций D.E.R. 330 + D.E.H. 650 и D.E.R. 330 + Polyrox IPD составляют 154 и 118 °C соответственно. Для систем на основе эпоксидной смолы ХТ-711 пики температуры реакции отверждения соответствуют 195 °C и не зависят от типа термопластичного модификатора. Более высокие температуры пиков реакции отверждения предполагают режимы термообработки с более высокими температурами для достижения полной степени отверждения связующих. Температуры стеклования эпоксидных матриц D.E.R.

330 + D.E.H. 650 и D.E.R. 330 + Polyrox IPD составляют 174 и 158 °C соответственно.

Следует отметить, что ароматический амин D.E.H. 650 позволяет получить температуру стеклования эпоксидной смолы D.E.R. 330 на 16 °C выше, чем при использовании циклоалифатического диамина Polyrox IPD. Эпоксидная смола ХТ-711, отвержденная ангидридом изо-МТГФА, имеет температуру стеклования 181 °C. Температура стеклования системы ХТ-711 + изо-МТГФА на 7 °C выше, чем для композиции D.E.R. 330 + D.E.H. 650, и на 23 °C — для D.E.R. 330 + Polyrox IPD. Введение в эпоксидную смолу ХТ-711 полисульфона повышает температуру стеклования на 8 °C по сравнению с немодифицированной матрицей. Однако модифицирование ХТ-711 более теплоустойчивым полиэфиримидом приводит к снижению температуры стеклования на 10 °C. Это кажется неожиданным и требует дополнительных исследований. Таким образом, композиции ХТ-711 + изо-МТГФА и ХТ-711 + изо-МТГФА + ПСК-1 обладают более высокими температурами стеклования по сравнению с остальными. Можно предположить, что они будут обладать повышенной теплоустойчивостью относительно базовых матриц.

Выводы

Исследованы технологические свойства эпоксидных композиций. Показано, что эпоксидные связующие на основе ХТ-711 и отвердителя изо-МТГФА обладают меньшей вязкостью по сравнению с композициями на основе D.E.R. 330. Так, вязкость композиции ХТ-711 + изо-МТГФА составляет 1,16 Па·с при 25 °C и 0,17 Па·с при 55 °C. Вязкость эпоксидных композиций на основе ХТ-711 на 40–50% ниже D.E.R. 330. Связующие на основе смо-

лы ХТ-711, модифицированной теплостойкими термопластами, при температуре 50 °С имеют вязкость на уровне связующих D.E.R. 330. Эпоксидные связующие на основе смолы ХТ-711 при температуре 80 °С обладают высокой жизнеспособностью по сравнению с D.E.R. 330. При такой температуре отверждение композиций на основе ХТ-711 начинается при 190–280 мин. Это может позволить изготавливать массивные или сложные изделия, требующие длительных операций, или технологические переходы. Выбранные режимы отверждения эпоксидных связующих обеспечивают практически полную их полимеризацию (степень отверждения приближается к 100%). Совокупность полученных данных позволяет выбрать температурно-временные параметры процесса намотки.

Работа выполнена в рамках государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, осуществляемой в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 (Договор № 02. G25.31.0186 от 27.04.2016 г.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нелюб В.А., Бородулин А.С., Кобец Л.П., Мальшева Г.В. Исследование механизма структурообразования связующего в зависимости от микрорельефа поверхности углеродного волокна // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. № 2. С. 19–23.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин. М.: МАДИ. 2016. 264 с.
3. Бессонов И.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С. Разработка технологической базы для производства синтетических связующих на основе растительного биовозобновляемого сырья // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. № 8. С. 47–48.
4. Солодилов В.И., Горбаткина Ю.А. Свойства однонаправленных стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной полисульфоном или эпоксиуретановым олигомером // Механика композитных материалов. 2006. Т. 42. № 6. С. 739–758.
5. Чалых А.Е., Герасимов В.К., Бухтев А.Е. и др. Совместимость и эволюция фазовой структуры смесей полисульфон-отверждающиеся эпоксидные олигомеры // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2003. Т. 45. № 7. С. 1148–1159.
6. Солодилов В.И., Корохин Р.А., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М. Сравнение энергий разрушения эпоксиполисульфоновых матриц и однонаправленных намоточных композитов на их основе // Механика композитных материалов. 2015. Т. 51. № 2. С. 253–272.
7. Литвинов В.Б., Токсанбаев М.С., Деев И.С., Кобец Л.П., Рябовол Д.Ю., Нелюб В.А. Кинетика отверждения эпоксидных связующих и микроструктура полимерных матриц в углепластиках на их основе // Материаловедение. 2011. № 7. С. 49.
8. Штефан Ю.В., Зорин В.А., Баурова Н.И. Управление качеством машин и технологических процессов. М.: МАДИ. 2016. 120 с.
9. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Technological heredity and identification of technological processes // Polymer Science. Series D. 2015. V. 8. No 3. P. 219–222.
10. Нелюб В.А. Селекция компонентов композитов, обеспечивающая повышение их прочности при межслоевом сдвиге // Ремонт, восстановление, модернизация. 2017. № 5. С. 42–46.

ВНИМАНИЕ!

Издательство ООО «Наука и технологии» доводит до сведения авторов, что статьи принимаются к публикации в журнале при условии передачи издательству **ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОГО** права. Указанное положение обусловлено требованием соблюдения оригинальности статьи.