

Заливочные компаунды на основе модифицированных эпоксидных смол

Компаунды – полимерные композиции, предназначенные для заливки или пропитки токопроводящих схем и деталей с целью их электроизоляции и герметизации [1]. По назначению электроизоляционные компаунды делятся на три группы: пропиточные, заливочные и обмазочные [2].

Заливочные компаунды предназначаются для заливки электротехнических изделий, узлов и деталей, а также для заполнения промежутков между деталями радиотехнических и электронных устройств в электрических машинах и аппаратах, поэтому они должны обладать низкой вязкостью, обеспечивающей хорошее заполнение различных объёмов, в том числе минимальных зазоров. Компаунды, используемые в авиационной бортовой аппаратуре и изделиях ракетно-космической техники, подвергаются воздействию вибрационных, ударных и других нагрузок, циклическим изменениям температуры, радиации. В таких условиях работоспособны заливочные составы, сочетающие повышенную эластичность с достаточной механической прочностью. Эластичность необходима при заполнении зазоров между материалами с разными коэффициентами термического линейного расширения, позволяя тем самым нивелировать внутренние напряжения в полимерном слое, возникающие при изменениях температуры.

После отверждения компаунды должны иметь высокие электроизоляционные и физико-механические характеристики, а также хорошую термо- и влагостойкость. Компаунды, применяемые в аппаратуре, особенно содержащей оптические элементы, должны иметь минимальные показатели газовыделения при вакуумно-тепловых воздействиях [3].

Наиболее распространены **эпоксидные заливочные компаунды**, так как эпоксидные полимеры отличаются высокими механическими и электроизоляционными характеристиками, отверждаются при нормальных условиях практически без выделения летучих продуктов, с минимальной усадкой и по этим свойствам превосходят материалы других типов.

В ОАО «Композит» разработан ряд электроизоляционных низковязких компаундов холодного отверждения с разной степенью эластичности и пределом прочности при растяжении от 12 до 40 МПа на основе эпоксидно-диановых смол, модифицированных одно- и поли-

функциональными продуктами марки Лапроксид. Все компаунды характеризуются высокой когезионной и адгезионной прочностью, в том числе хорошей адгезией к цветным металлам, полиамидной плёнке, ПВХ-оболочке проводов, алюминиевой фольге.

Разработанные компаунды являются низковязкими, технологичными и могут заливаться с помощью шприца. Они не содержат растворителей, отверждаются при нормальных условиях по полимеризационному механизму, поэтому имеют усадку при отверждении не более 0,5%.

Благодаря повышенной эластичности и минимальной усадке при их заливке и отверждении не возникают внутренние напряжения в элементах электро- и радиоизделий, вызывающие деформацию, обрыв проводов, образование трещин в заливках. В условиях термоциклирования повышенная эластичность отверждённых компаундов позволяет нивелировать напряжения, возникающие из-за разных коэффициентов термического линейного расширения контактирующих материалов при циклических изменениях температуры [4].

Самыми широко применяемыми в настоящее время являются **вибро- и ударопрочные клеи-компаунды холодного отверждения ЦМК-5, ЦМК-73, ЭЛК-5, ЭЛК-9** с относительным удлинением 2,5–7%, пределами прочности при растяжении 25–40 МПа и наиболее эластичный **эпоксиполиуретановый компаунд ЭЛК-12** с относительным удлинением не менее 35%. Сочетание высокого предела прочности при отрыве, сдвиге и растяжении с достаточной эластичностью обеспечивает высокую вибро-, ударо- и трещиностойкость материалов ЦМК-5, ЭЛК-5, ЭЛК-9 и ЭЛК-12.

Основной показатель эластичности – относительное удлинение при растяжении для разработанных материалов определялось на плёнках из отверждённых компаундов толщиной 0,15–0,25 мм, соответствующей оптимальной толщине клеевого слоя. Следует отметить, что большинство широко применяемых конструкционных клеев на плёнках такой толщины имеют относительное удлинение менее 1%.

Компаунды ЦМК-5, ЦМК-73, ЭЛК-5, ЭЛК-9, ЭЛК-12 имеют жизнеспособность 2...3 ч, время отверждения при 20°C 2...3 сут., хорошо заполняют минимальные зазоры, не

С.Н. ГЛАДКИХ
канд. хим. наук,
Л.И. КУЗНЕЦОВА,
Е.Н. БАШАРИНА
(ОАО «Композит»)

содержат растворителей, отверждаются при температуре от 15 до 35°C с усадкой не более 0,5%, поэтому широко применяются в качестве заливочных компаундов. Материал ЭЛК-12 работоспособен в интервале температур от минус 60 до 80°C (длительно) и от минус 196

до 120°C кратковременно. Компаунды ЦМК-5, ЭЛК-5, ЭЛК-9 длительно работоспособны в интервале температур от минус 196 до 120°C, кратковременно до 200°C, ЭЛК-9 – не менее 5 ч при температуре 250°C. Компаунды ЭЛК-5, ЭЛК-9 выдерживают температурное воздействие пайки до 265°C не менее 2 мин.

Они характеризуются высокими адгезионными прочностями клеевых соединений из металлов (в том числе цветных), реактопластиков. В отверждённом состоянии рассматриваемые материалы устойчивы к условиям повышенной влажности, воздействию бензина, масла, а компаунд ЭЛК-12 также работоспособен в агрессивных средах.

В табл. 1. представлены основные механические, технологические, когезионные и адгезионные характеристики эпоксидных составов ЦМК-5, ЭЛК-5, ЭЛК-9, ЦМК-73 и ЭЛК-12, рекомендуемых для применения в качестве заливочных компаундов и клеев [5].

Низковязкий виброударопрочный заливочный *компаунд ЭЛК-5* с удовлетворительной адгезией к полихлорвиниловой изоляции проводов, практически безусадочный, успешно применяется для упрочнения, герметизации и изоляции электрических разъемов, элементов электро- и радиоизделий, заливки электрических датчиков в условиях высоких вибрационных и ударных нагрузок. Компаунд ЭЛК-5 с наполнителем применяется для заливки датчиков в двигателях рулевого управления самолётов. Проведённые испытания показали, что клей-компаунд ЭЛК-5 обладает грибостойкими свойствами, т.е. не способен использоваться микроскопически грибами в качестве источника питания.

Низковязкий компаунд ЭЛК-5 также успешно применяется для герметизации сварных швов в металлических коробках, предназначенных для изоляции и герметизации соединений в высоковольтных кабелях. Клей-компаунд ЭЛК-5 используется для герметизации и ремонта поверхностей из стекло- и углепластиков.

Самый эластичный и низковязкий из рассматриваемых заливочных эпоксидных составов – эпоксиполиуретановый *компаунд ЭЛК-12* – предназначен для изоляции электрических разъемов, выводов. В элементах электро- и радиоаппаратуры, залитых и склеенных компаундом ЭЛК-12, после его отверждения не возникают деформационные напряжения.

Из-за повышенной стойкости в агрессивных средах компаунд ЭЛК-12 применяется для герметизации платиновых выводов толщиной 0,3 мм в пазе корпуса из АБС (акрилонитрилбутадиенстирольного) пластика

Таблица 1
Основные физико-механические характеристики компаундов

Параметр	Значение при температуре 15–35°C				
	ЦМК-5	ЭЛК-5	ЭЛК-9	ЦМК-73	ЭЛК-12
Жизнеспособность в массе до 50 г, ч	3	2	3	3	2
При растяжении на пленках – 0,2 мм: относительное удлинение, %, не менее	5	2,5	3	3	30
разрушающее напряжение, МПа, не менее	25	35	45	24	12
Прочность клеевых соединений (зашкуренных) из алюминиевого сплава, МПа, не менее:					
при сдвиге	15	14	13	13	7
при отрыве	30	30	30	25	14

Таблица 2
Диэлектрические характеристики заливочных компаундов ЦМК-73, ЭЛК-12, ЗК-ЭЛ/3 при температуре 20°C и ЭЛК-5, ЭЛК-9 в исходном состоянии и после циклических воздействий температуры

Компаунд	Параметр					
	Толщина образца, мм	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁶ Гц	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁶ Гц	Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом·см	Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом	Электрическая прочность на частоте 50 Гц, кВ/мм
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 20°C						
ЦМК-73 с наполнителем	–	4,0	0,038	1,9·10 ¹⁴	2,3·10 ¹⁵	16,3
ЗК-ЭЛ/3 без наполнителя	–	4,0	0,023	1,5·10 ¹⁵	4,3·10 ¹⁵	17,0
ЭЛК-12 с наполнителем	–	4,3	0,068	1,0·10 ¹⁴	9,4·10 ¹³	17,0
ЭЛК-12 без наполнителя	1,8	4,4	0,074	2,5·10 ¹²	2,8·10 ¹²	22,2
В ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ И ПОСЛЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ						
ЭЛК-5 без наполнителя в исходном состоянии	1,9–2,0	3,7	0,037–0,038	2,0·10 ¹³	3,7·10 ⁹	27–30
ЭЛК-5 без наполнителя после 5 циклов: минус 60±215°C, затем 2 ч: 215°C	2,1	3,4–3,5	0,020	1,6·10 ¹⁵	3,4·10 ¹⁴	19,5–20,9
ЭЛК-5 с микроталком в исходном состоянии	2,2–2,7	3,0–3,4	0,023–0,027	5,2·10 ¹⁴ – 2,1·10 ¹⁵	8,0·10 ¹³ – 1,7·10 ¹⁵	19,1–18,3
ЭЛК-5 с микроталком после 5 циклов: минус 60±215°C, затем 2 ч: 215°C	2,6	3,4	0,024–0,028	1,7·10 ¹⁵	6,8·10 ¹⁴	16,5–17,5
ЭЛК-9 без наполнителя в исходном состоянии	2,7	3,4	0,021	3,0·10 ¹⁵	4,2·10 ¹³ – 1,0·10 ¹⁴	15,5–17,0
ЭЛК-9 без наполнителя после 5 циклов: минус 60±215°C, затем 2 ч: 215°C	2,3	3,0	0,015	1,0·10 ¹⁵	2,5·10 ¹⁴	19,5
ЭЛК-9 с микроталком в исходном состоянии	2,4	3,6	0,019	1,7·10 ¹⁵	8,5·10 ¹³	19,6
ЭЛК-9 с микроталком после 5 циклов: минус 60±215°C, затем 2 ч: 215°C	2,4	3,4	0,027	1,4·10 ¹⁵	4,2·10 ¹⁴	19,1
ЭЛК-9 с наполнителем после 5 циклов: минус 60±250°C, затем 2 ч: 250°C	2,2	3,1	0,021	1,3·10 ¹⁴	1,7·10 ¹⁵	18,2
ЭЛК-9 с маршаллитом	2,0	3,5	0,015	7,0·10 ¹⁴	4,2·10 ¹⁴	20,0

«Новодур» в среде 40% серной кислоты и 30% щёлочи при температуре от минус 20 до 50°C.

ЭЛК-12 успешно применяется для склеивания металлов (в том числе алюминиевых и медных сплавов), пластиков в любых сочетаниях в узлах и деталях, работоспособных при высоких вибрационных и ударных нагрузках в температурном интервале от минус 60 до 120°C (кратковременно), а также для наклейки элементов на микросхемах, лакоткани типа ЛХМН-103-0,8 на конденсаторы. При необходимости соединения с клеем ЭЛК-12 могут быть демонтированы, т.е. являются ремонтпригодными.

В табл. 2 приведены диэлектрические характеристики заливочных компаундов ЦМК-73, ЭЛК-12 и ЗК-ЭЛ/3 при температуре 20°C. Электрическая прочность и сопротивление разработанных компаундов могут быть повышены за счёт применения соответствующих наполнителей и вакуумирования в процессе заливки и отверждения.

В табл. 2 также приведены диэлектрические характеристики заливочных компаундов ЭЛК-5, ЭЛК-9, в том числе после циклических воздействий температуры от минус 60 до 215 и от минус 60 до 250°C. Следует отметить, что компаунд ЭЛК-9 отличается от ЭЛК-5 повышенной водо- и теплостойкостью.

В последнее время разработан ряд заливочных компаундов с высокими диэлектрическими характеристиками и низкой вязкостью — не более 120 с по вискозиметру ВЗ-4, продолжают разработки заливочных композиций

с повышенными диэлектрическими характеристиками и термической стойкостью.

В ОАО «Композит» проводятся также работы по созданию низковязких пропиточных компаундов [6], предназначенных для пропитки намоточных изделий электронной и радиотехнической аппаратуры, в том числе для пропитки и заливки трансформаторов и других электроэлементов с целью их электроизоляции. Усадка компаундов при отверждении минимальная (до 0,5%). Пропиточные компаунды имеют начальную вязкость от 30 с до 2 мин (по ВЗ-4) при температуре (25±10)°C, сохраняют невысокую вязкость в течение 4–5 ч при этой температуре и позволяют проводить процесс пропитки без дополнительного подогрева.

Список литературы

1. Чернин И.З., Смахов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. М.: Химия, 1982, 155 с.
2. Гладков А.З. Электроизоляционные лаки и компаунды. М.: Энергия, 1973, с. 23.
3. ГОСТ Р 50109–92. Материалы неметаллические, Метод испытания на потерю массы и содержание летучих конденсирующихся веществ при вакуумно-тепловом воздействии.
4. Гладких С.Н., Кузнецова Л.И. Новые заливочные компаунды на основе модифицированных эпоксидных смол // Авиакосмическая техника и технология. 2004. № 3. С. 14–20.
5. Гладких С.Н., Кузнецова Л.И., Осипова Т.С. Новые конструкционные вибро-, ударопрочные клеи // Авиакосмическая техника и технология. 2003. № 4. С. 7–14.
6. Гладких С.Н., Колобкова В.М., Башарина Е.Н. Новые заливочные и пропиточные компаунды холодного отверждения на основе модифицированных эпоксидных смол // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 7. С. 8–13.