

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вершинин Ю.Н. Электрический пробой твердых диэлектриков. – Новосибирск: Наука, 1968. – 210 с.
- Mosh W., Pilling J. Tschacher B. Kanaleinsatzzeit und Durchschlagzeit zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von Feststoff // *Elektrie*. – 1972. – Н. 11. – С. 312–319.
- Shibuya Y., Zoledriowski S., Calderwood I.H. Void formation and electrical breakdown in plastic insulators // *IEEE Trans. Power Appar. and Syst.* – 1977. – V. PAS-96. – № 1. – P. 198–207.
- Ушаков В.Я. Электрическое старение и ресурс монолитной изоляции. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 152 с.
- Гефле О.С. Разработка метода диагностики зарождения и развития разрушений в электрической изоляции по тепловым эффектам: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск. 1984. – 234 с.
- Гефле О.С. Применение тепловизионного метода для диагностики состояния изоляции высоковольтных конструкций // *Электричество*. – 1986. – № 4. – С. 58–59.
- Гефле О.С. Оценка интегрального перепада температуры на начальной стадии разрушения полимерных диэлектриков в сильном электрическом поле // *Электричество*. – 1988. – № 6. – С. 84–88.
- Гефле О.С., Черкашина Е.И. Диагностика предпробивного состояния полимерных диэлектриков по тепловым эффектам // *Известия Томского политехнического университета*. – 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 54–59.
- Nawata M., Kawamura H., Ieda M. Voltage and temperature dependences of treeing breakdown in organic solid insulations // *Elect. Eng. Jap.* – 1971. – V. 91. – P. 109–115.
- Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия: Ленинград. отд., 1979. – 224 с.
- Brakermann H. Zündvolumina inhomogen beanspruchter Feststoffisolierungen // *Bull. Scheiz. Elektrotechn. Ver.* – 1977. – V. 68. – S. 595–599.
- Zoledriowski S., Sakata S., Shibuya Y., Calderwood I.H. Study of electrical treeing in epoxy resin using electro-optical methods // *3rd Intern. Symp. High Volt. Eng.* – Milan, Italy, 1979. – V. 1. – P. 1–4.
- Tanaka T., Greenwood A. Effect of charge injection and extraction on tree initiation in polyethylene // *IEEE Trans. Power Appar. and Syst.* – 1978. – V. 97. – № 5. – P. 1749–1757.
- Tanaka T. Space charge injected via interfaces and tree initiation in polymers // *IEEE Trans. on Dielectr. Electr. Insul.* – 2001. – V. 8. – № 5. – P. 713–743.
- Auckland D.W., McNicol A.A., Varlow B.R. Development of strain in solid dielectric due to vibrational electrostatic forces // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 1990. – № 23. – P. 1608–1613.
- Crine J-P. Relations between aging, space charge and polarization of polyethylene // *Intern. Conf. on Solid Dielectrics*. – July 5–7, 2004. – Toulouse, France, 2004. – P. 280–283.
- Дмитревский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.
- Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.
- Boggs S.A. Theory of a defect-tolerant dielectric system // *IEEE Trans. Electr. Insul.* – 1993. – V. 28. – P. 365–370.
- Mason J.H. Breakdown of solid dielectrics in divergent fields // *Proc. IEE.* – 1955. – V. 102C. – P. 254–263.
- Гефле О.С., Ушаков В.Я. Метод определения “кривых жизни” монолитной полимерной изоляции // *Электричество*. – 1985. – № 8. – С. 65–67.

УДК 621.315.6

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ИЗ ПОЛИКАРБОНАТНЫХ СМОЛ

С.М. Лебедев, В.А. Волохин, Б.В. Шмаков, П.А. Матин

НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета

E-mail: polymer@hvd.tsk.ru

Представлены результаты, полученные при отработке технологии и изготовлении высоковольтной изоляции из поликарбонатных смол методом длительной выдержки в расплаве. Разработанная уникальная технология позволяет изготавливать монолитные крупногабаритные изделия и заготовки из поликарбонатов.

Введение

Лаборатория “Полимер” НИИ высоких напряжений традиционно в течение более 30 лет занимается разработкой технологий и изготовлением монолитной крупногабаритной полимерной изоляции для высоковольтного электрофизического и электротехнического оборудования. За эти годы была разработана технология изготовления [1–3] крупногабаритных изоляционных изделий из термопластов: полиэтилена низкой и высокой плотности (ПЭНП и ПЭВП), полипропилена (ПП) и его сополимеров, полистирола (ПС) и др. Основными преимуществами разработанной технологии являются:

- возможность изготовления цельнолитых изделий различной формы;
- отсутствие дефектов, трещин, газовых и усадочных раковин;
- низкие остаточные механические напряжения;
- возможность изготовления изделий различной формы с закладными металлическими деталями;
- возможность изготовления малых партий и единичных опытных изделий с низкими удельными затратами;
- отсутствие необходимости в дорогостоящих пресс-формах.

Готовые изделия и заготовки для дальнейшей механической обработки изготавливают из гранулированных термопластов путем нагрева и плавления в вакуумных печах-формах с последующим охлаждением, регулируемым по скорости и направлению, без избыточного давления. Упрощенная блок-схема установки для изготовления изделий из полимеров приведена на рис. 1.

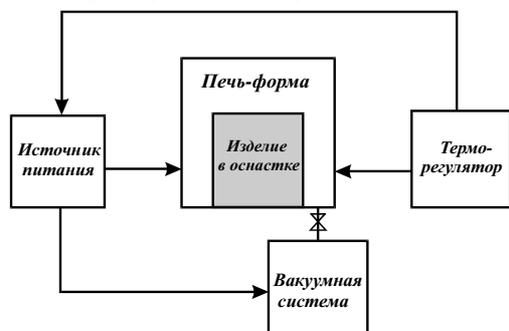


Рис. 1. Блок-схема установки для изготовления крупногабаритных изделий из полимеров

Максимальные массогабаритные размеры изготавливаемых изделий:

- диаметр (или диагональ) – до 3,0 м;
- высота (или длина) – до 2,0 м;
- масса – до 2,5 т.

В настоящее время всю номенклатуру изделий из термопластов, изготавливаемых в лаборатории, условно можно разделить на три группы:

1. Крупногабаритные высоковольтные изоляционные изделия, рис. 2.

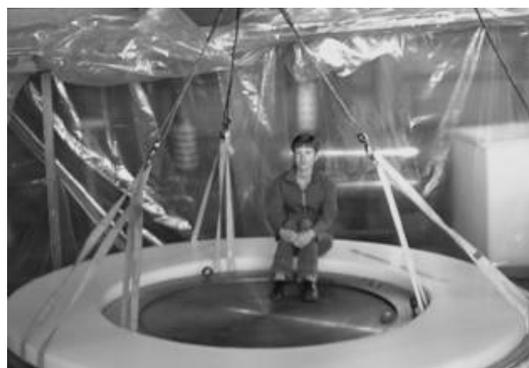


Рис. 2. Крупногабаритные изделия из ПЭНП диаметром: а) 3 м и б) до 1,5 м

2. Емкости для хранения и технологического использования агрессивных жидкостей: щелочей, кислот и их растворов, рис. 3.



а)



б)



в)

Рис. 3. Крупногабаритные емкости из ПЭНП объемом: а) 3, б) 1 и в) 0,1 м³

3. Изделия для электротехнической, электрохимической промышленности и конструкционных узлов и деталей для различных отраслей науки и промышленности, рис. 4 и 5.

В последние годы наметилась тенденция к расширению номенклатуры применяемых материалов. Это обусловлено ужесточением условий эксплуатации изготавливаемых изделий, например, повышением рабочих температур, механических нагрузок, повышенными требованиями по стойкости к УФ излучению, атмосферостойкости и т.п. В частности, применение изделий из полиолефинов ограничено максимальной рабочей температурой 60...70 °С, достаточно низкими физико-механическими характеристиками и малой стойкостью к воздействию УФ излучения. Очень часто при изго-

товлении высоковольтной изоляции для электрофизических устройств одной из главных проблем становится проблема низкой атмосферостойкости и высокого водопоглощения изоляционного материала, например, полиамида или полиметилметакрилата (ПММА), традиционно применяемых в высоковольтной технике в качестве изоляционных и конструкционных материалов.



а)



б)

Рис. 4. Заготовки из: а) ПЭНП и б) готовое изделие из графитонаполненного ПП

В этой связи перед коллективом лаборатории была поставлена задача разработки новой технологии и поиска перспективных полимерных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами, пригодных для переработки методом длительной выдержки в расплаве.

Разработка технологии изготовления изделий из поликарбонатных смол

Одним из наиболее перспективных материалов как с точки зрения повышения эксплуатационных характеристик изделий (повышение рабочей температуры и физико-механических характеристик по сравнению с полиолефинами), так и с точки зрения возможности его переработки путем длительной выдержки в расплаве является поликарбонат (ПК). Некоторые характеристики оптически прозрачных диэлектриков, применяемых в качестве изоляционных и конструкционных материалов в высоковольтном оборудовании, для сравнения приведены в таблице.



а)



б)

Рис. 5. Изделия из полиэтилена: а) ПЭВП (параболическая антенна) и б) ПЭНП (высоковольтные изоляционные конструкции)

Таблица. Характеристики оптически прозрачных полимерных материалов

Параметр	ПММА	ПС	ПК
Прочность при растяжении, МПа	70	52...75	71
Относительное удлинение при разрыве, %	3,5	2,0	120
Усадка при формовании, %	0,1...0,4	0,5...0,7	0,4...0,8
Теплостойкость по Вика, °С; класс нагревостойкости	110; Y	80-103; <Y	145; E
Интервал рабочих температур, °С	-50...+90	-30...+80	-100...+140
Водопоглощение при 23 °С в течение 24 ч, %	0,1...0,4	0,01...0,03	0,15
Электрическая прочность при толщине 3 мм, кВ/мм	22	16...24	20...30
Удельное объемное сопротивление, Ом·м	10 ¹⁴	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹⁴ ...10 ¹⁵

Видно, что основные электрофизические параметры приведенных выше полимеров соизмеримы. При этом поликарбонат имеет более высокие теплофизические характеристики, что позволяет применять изделия из него при более высоких рабочих температурах при неизменных или даже более высоких механических характеристиках.

Как первый шаг по переработке поликарбонатных смол, в лаборатории "Полимер" была разработана и изготовлена технологическая линия литья изделий при низком давлении [4], структурная схема которой приведена на рис. 6.

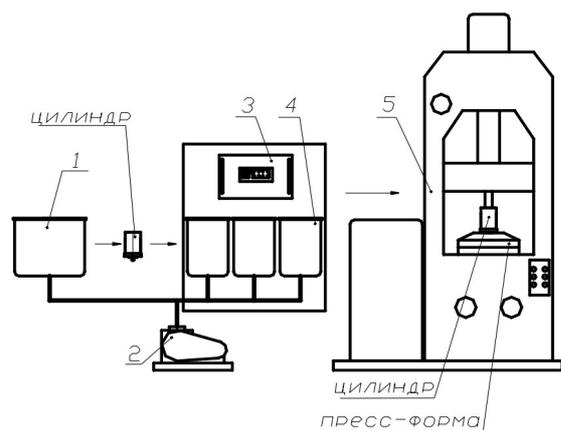


Рис. 6. Технологическая линия литья изделий из поликарбоната под низким давлением: 1) шкаф сушильный электрический; 2) насос вакуумный; 3) установка индукционного нагрева; 4) шкаф индукционный; 5) пресс гидравлический

Данная технологическая линия была использована для изготовления заготовок и готовых изделий из поликарбоната небольших габаритов, в частности, для изготовления рассеивателей (плафонов) для светодиодного светофора, рис. 7.

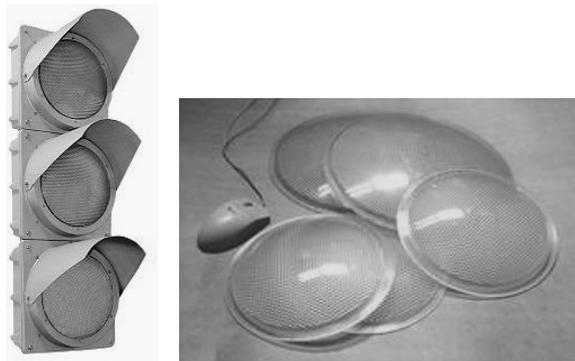


Рис. 7. Светодиодный светофор и рассеиватели из поликарбоната для него

Для нагрева гранул поликарбоната и получения расплава в технологической линии использована установка индукционного нагрева металлического цилиндра, в который помещается перерабатываемый материал. Установка индукционного нагрева состоит из генератора с номинальным напряжением питания 380 В мощностью преобразователя 10 кВА при частоте 10 кГц и индуктора, в который помещается цилиндр с перерабатываемым материалом. Применение индукционного нагрева гранулированного поликарбоната позволило в 2...3 раза сократить время, необходимое для получения расплава, по сравнению с традиционными способами нагрева.

На сегодня объем выпуска рассеивателей для светодиодных светофоров в лаборатории “Полимер” составляет 3000...3500 шт. в год.

В последние три года в лаборатории проводятся работы по отработке технологии изготовления крупногабаритных изделий для электрофизических

установок из ПК. Переработка ведется по схеме, рис. 1, методом длительной выдержки материала в расплаве. Была разработана технология и технологические регламенты для изготовления крупногабаритных изделий, в частности, колец с максимальным диаметром до 800 мм толщиной 50 мм и цилиндрических заготовок для высоковольтных изоляторов высотой до 750 мм и диаметром до 300 мм.

В процессе отработки технологии было установлено, что вся оснастка при изготовлении изделий из ПК методом длительной выдержки материала в расплаве должна быть выполнена из алюминированных сплавов, поскольку за счет повышенной адгезии материала к деталям, изготовленным из стали, а также за счет очень малой усадки материала при охлаждении, выемка готовых изделий из деталей оснастки без разрушения практически невозможна. В изделиях могут образовываться трещины как в радиальном, так и в тангенциальном направлении, рис. 8.

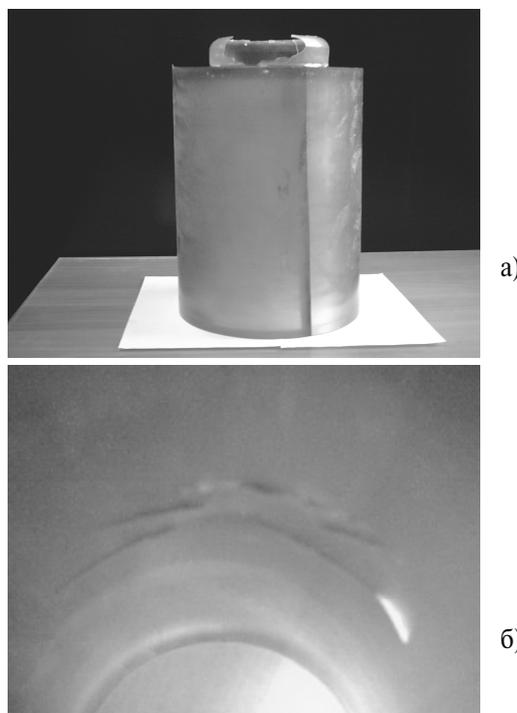


Рис. 8. Заготовки из ПК после их выемки из оснастки. Образование: а) продольной и б) поперечной трещин

Еще одной проблемой при изготовлении крупногабаритных изделий из ПК является выбор оптимального режима охлаждения изделий в оснастке. При естественном охлаждении в объеме крупногабаритных изделий цилиндрической формы возможно образование усадочных раковин и пузырей, рис. 9.

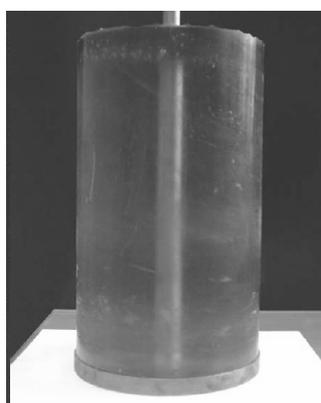
На рис. 10 и 11 показаны некоторые изделия и заготовки, изготовленные с помощью данной технологии. На сегодня в лаборатории “Полимер” изготовлено несколько десятков крупногабаритных изделий по договорам с ИЯФ СО РАН (г. Новосибирск), ИСЭ СО РАН, ИФП СО РАН (г. Томск) и другими организациями г. Томска.



Рис. 9. Образование газового пузыря в заготовке из ПК



а)



б)

Рис. 10. Крупногабаритные изделия из ПК: а) цельнолитые и б) с закладной металлической деталью



а)



б)

Рис. 11. Изделия из ПК: а) высоковольтные изоляторы и б) цилиндрические заготовки для изоляторов

Заключение

1. Разработана и создана технологическая линия для литья изделий из термопластов при низком давлении, позволяющая изготавливать малые партии изделий из поликарбоната.
2. Разработана основа технологии изготовления крупногабаритных изделий и заготовок из поликарбоната методом длительной выдержки материала в расплаве.
3. Дальнейшее усовершенствование разработанной технологии, в частности, оптимизация технологических режимов нагрева и регулируемого охлаждения, позволит изготавливать крупногабаритные изделия из поликарбоната гарантированного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 509895 СССР. МКИ Н01В 19/00. Способ изготовления толстостенных изделий / В.С. Дмитриевский, В.Г. Сотников, И.И. Сквирская. – Опубл. 05.04.76. Бюл. № 13.
2. А.с. 659398 СССР. МКИ В29С 5/00. Способ изготовления крупногабаритных изделий из полиэтилена / В.Г. Сотников, И.И. Сквирская. – Опубл. 30.04.79. Бюл. № 16.
3. Пат. 2199438 РФ. МКИ В29С 39/02, 39/42. Способ изготовления крупногабаритных изделий из полиолефинов / П.В. Филиппов, Б.В. Шамаков. – Опубл. 27.02.03. Бюл. № 6.
4. Волохин В.А., Шамаков Б.В., Лебедев С.М. и др. Технологическая линия литья изделий из термопластов при низком давлении // Пластические массы. – 2004. – № 12. – С. 55–56.