

Владимир Беломытцев

Коррозионная стойкость корпусов электронных приборов

*Коррозия (от позднелат. *corrosio* — разъедание) — разрушение твердых тел, вызванное химическими и электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с агрессивной средой.*

Российский энциклопедический словарь

«Жизнь» каждого электронного прибора проходит в непрерывной борьбе с неблагоприятными факторами внешней среды. Основные удары в этом противостоянии принимает на себя корпус прибора. Именно он защищает электронную «начинку» от перепадов температуры, электромагнитных помех и механических по-

вреждений. Однако и у него есть мощный противник — коррозия.

Коррозионная стойкость корпуса в наибольшей мере зависит от материала, из которого он изготовлен, от вида защитного покрытия и от типа воздействующей на него коррозионной среды: материалы и покрытия, стойкие в одной среде, могут интенсивно разрушаться в другой.

В зависимости от характеристик среды и условий протекания процесса различают около 40 видов коррозии: атмосферную, газовую, почвенную, морскую, электрокоррозию, кавитационную, кислотную, биокоррозию и так далее. Кроме того, по механизму реакций взаимодействия материала со

средой различают химическую, электрохимическую и механохимическую коррозию. Учитывая небольшой объём данной статьи, ограничимся рассмотрением коррозионной стойкости только некоторых из числа широко используемых металлических и пластиковых корпусов в наиболее часто встречающихся средах, вызывающих химическую и электрохимическую коррозию.

КОРПУСА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обычно выбор материалов, предназначенных для использования в коррозионной среде, производят по справочным таблицам, в которых в со-

Таблица 1. Ориентировочные оценки пригодности полимерных материалов к использованию в определённых средах

Коррозионная среда \ Материал	Polystyrene (полистирол)	ABS (АБС-пластик)	Polycarbonate (поликарбонат)	Polyamide (полиамид)	Polyester, glass fiber reinforced (полиэфирный стеклопластик)	Polyurethane sponge (полиуретановая резина)	Silicone sponge (силиконовая резина)
Керосин	0-0-0	2-2-2	2-2-2	0-0-0	1-2-2	1-1-1	4-4-4
Ацетон	4-4-4	4-4-4	4-4-4	1-1-1	2-3-3	4-4-4	1-1-1
Борная кислота, 10%	0-0-0	1-1-1	1-1-1	0-0-0	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Хлорид кальция, 10%	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Карболовая кислота (фенол), 25%	0-0-0	4-4-4	4-4-4	0-0-0	4-4-4	4-4-4	4-4-4
Лимонная кислота, 10%	1-1-1	1-1-1	1-1-1	0-0-0	1-1-1	4-4-4	1-1-1
Дистиллированная вода	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Этиловый спирт	0-0-0	1-1-1	1-1-2	0-0-0	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Этиленгликоль	0-0-0	1-1-1	1-1-1	0-0-0	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Хлорное железо, 10%	0-0-0	1-1-1	3-3-3	0-0-0	1-1-1	2-3-3	1-1-2
Тормозная жидкость	0-0-0	4-4-4	3-4-4	1-1-1	1-1-1	4-4-4	1-1-2
Фосфорная кислота, 50%	0-0-0	1-1-1	1-1-1	0-0-0	1-1-1	4-4-4	1-1-2
Морская вода	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Моторное масло	3-3-3	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	4-4-4
Бензин	4-4-4	4-4-4	1-1-4	1-1-1	1-1-1	1-1-1	4-4-4

Примечания. 1. В таблице использована следующая система оценки коррозионной стойкости: 0 — нет данных; 1 — материал рекомендуется использовать в данной среде; 2 — не рекомендуется долговременное использование; 3 — возможно ограниченное использование; 4 — материал не рекомендуется использовать в данной среде.

2. В каждой ячейке таблицы указаны три цифры: первая соответствует оценке при 30-дневном воздействии коррозионной среды на материал, вторая — при 60-дневном, третья — при 120-дневном.

Таблица 2. Характеристики основных полимерных материалов, используемых в приборных корпусах

Название группы материалов	Международное обозначение	Название	Примеры торговых марок	Свойства	Примеры использования
Polystyrene Impact-resistant polystyrene	PS, GPPS, PS-GP, XPS HIPS	Полистирол, акрил Ударопрочный полистирол	Polystyrol (BASF) Styron (Dow) Austrex (Huntsman) Dicstyrene (Dainippon) Ferroflo (Ferro) Kraстен (Kautcuk) Lacqrene (ATOFINA) Polyflam (A. Schulman) Starex (Cheil Industries) Sumibright (Sumitomo)	Прозрачный жесткий хрупкий материал. Характеризуется хорошими диэлектрическими свойствами, низким влагопоглощением, радиационно стоек. Нестоек к УФ-излучению, горюч. Для изготовления корпусов чаще используется ударопрочный полистирол (impact-resistant polystyrene) — сополимер стирола с каучуком, который при существенно более высокой стойкости к ударным нагрузкам имеет несколько худшие электроизоляционные свойства и меньшую прочность при растяжении по сравнению с полистиролом общего назначения. Сохраняет свои свойства в температурном диапазоне от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$	Фирма Vorpla: корпуса серий CombiVac, Elegant (рис. 1), Element, Universal
ABS	ABS, MABS (прозрачный)	АБС-пластик, сополимер акрилонитрила, бутадиена и стирола	Arradur (ATOFINA) Cevian (Daicel) Diapet (Mitsubishi) Lupos (LG Chemicals) Lustran (Bayer) Magnum (Dow)	Пластик на основе полистирола. Имеет блестящую поверхность, обладает более высокой стойкостью к ударным нагрузкам по сравнению с полистиролом и другими сополимерами стирола. Характеризуется несколько худшими электроизоляционными свойствами по сравнению с полистиролом, нестойк к УФ-излучению. Сохраняет свои свойства в температурном диапазоне от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$	Фирма Vorpla: корпуса серий Botego (рис. 2), CombiCard, Ultramas, Ultrapult
Polycarbonate	PC	Поликарбонат, ПК	Makrolon (Bayer) Emerge PC (Dow) Kovaloy (Mitsubishi) Polyman (A. Schulman) Scantex (Polykemi) Toughlon (Idemitsu) Trirex (Sam Yang)	Материал обладает высокой жесткостью в сочетании со стойкостью к ударным воздействиям, в том числе при повышенной и пониженной температурах. Оптически прозрачен. Негорюч. Имеет высокую размерную стабильность, незначительное водопоглощение. Характеризуется очень хорошими диэлектрическими свойствами. Сохраняет свои свойства в температурном диапазоне от -50 до $+130^{\circ}\text{C}$	Фирма Vorpla: детали корпусов серий Combiset, CombiCard, Intercard (рис. 3) Фирма Schroff: детали корпусов QLINE, A-48
Polyamide	PA	Полиамид	Capron (Honeywell) Denyl 6 (Vamp Tech) Dilamid (Dilaplast) Durethan (Bayer) Novamid (Mitsubishi) Radiflam (Radici Plastics) Reny (Mitsubishi) Ultramid 6 (BASF)	Материал (на примере полиамида 6 — PA 6) проявляет высокую прочность при ударе, продавливании и при разрыве, сохраняет эластичность при низких температурах. Имеет низкий коэффициент трения, стоек к истиранию. Электрические и механические свойства сильно зависят от влажности окружающей среды. Сохраняет свои свойства в температурном диапазоне от -20 до $+80^{\circ}\text{C}$	Фирма Vorpla: корпуса серий Eletec (рис. 4), CombiNorm, Tastomat
Polyester Polyester, glass fiber reinforced	PBT/PBTP, PEBA, PEEK, PEI, PES и др. +GF	Полиэфир Полиэфирный стеклопластик	Ultradur (BASF) Aplax (Ginar Technology) Celapex (Ticona) Crastin (DuPont) Duranex (Polyplastic) Ektar (Eastman) Lumax (LG Chemicals) Novadur (Mitsubishi) Planac (Dainippon) Pocan (Bayer) Vandar (Ticona)	Материал (на примере полибутилтерефталата — PBT/PBTP, или ПБТ) характеризуется высокой жесткостью, прочностью, устойчивостью к ударным нагрузкам, износостойкостью. Обладает хорошими диэлектрическими свойствами. Имеет небольшое водопоглощение. Прочность материала существенно возрастает при добавлении наполнителя, в частности, стеклянных волокон. Материалы такого типа — Polyester, glass fiber reinforced или Fiberglass — имеют самый широкий для конструкционных полимеров температурный диапазон от -40 до $+100^{\circ}\text{C}$	Фирма Schroff: малые монтажные корпуса и шкафы серии A-48 Фирма Rose: монтажные коробки для взрывоопасных условий применения серии Okta-Box (рис. 5)
Polyurethane sponge	TPU	Полиуретановая резина		Термопластичный эластомер. Сохраняет свои свойства в температурном диапазоне от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$	Фирма Vorpla: эластичные уплотнительные прокладки для корпусов
Silicone sponge	SI	Силиконовая резина		Кремнийорганический полимер, обладающий высокой термостойкостью и отличными диэлектрическими характеристиками. Сохраняет свои свойства в температурном диапазоне от -60 до $+200^{\circ}\text{C}$	Фирма Rose: эластичные уплотнительные прокладки для корпусов

ответствии с ГОСТ 13819-68 применяется десятибалльная шкала оценки общей коррозионной стойкости. При необходимости проводят лабораторные и натурные (непосредственно на месте и в условиях будущего применения) коррозионные испытания образцов. Однако в ряде случаев для ориентировочной оценки пригодности материалов к использованию в определенных условиях можно воспользоваться упрощенной таблицей 1.

Таблица 1 составлена на основе данных, опубликованных ведущими фирмами-изготовителями корпусов: Schroff, Rose и Vorpla. Названия мате-

риалов указаны в соответствии с каталогами этих фирм.

Следует иметь в виду, что некоторые приведенные в таблице 1 названия (например, Polyester) могут использоваться для обозначения целого семейства материалов, отдельные представители которого отличаются по своим свойствам. Кроме того, иногда материалы более известны не по названию, а по торговым маркам, присвоенным фирмами-изготовителями (например, полиамид — капрон). В таблице 2 приведены некоторые сведения, позволяющие уточнить, о каких именно материалах идет речь, и таким

образом исключить неоднозначность в понимании представленных в таблице 1 данных.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОРПУСА

В результате коррозии ежегодно теряется от 1 до 1,5% всего металла, накопленного и эксплуатируемого человечеством. Коррозии в той или иной степени подвержены все металлы, за исключением благородных — золота и платины. Однако по понятным соображениям для изготовления корпусов чаще используются другие металлы, в первую очередь, железо и алюминий. В чистом виде эти металлы весьма



Рис. 1. Корпуса серии Elegant из ударопрочного полистирола



Рис. 2. Корпуса серии Botego из ABS-пластика



Рис. 3. Корпус Intercard с крышкой из поликарбоната



Рис. 4. Корпуса серии Eletec из полиамида



Рис. 5. Монтажные коробки из фибергласа серии Okta-Vox для взрывоопасных условий применения

подвержены коррозии, особенно когда коррозионная среда является электролитом. К сожалению, в большинстве случаев корпуса приборов эксплуатируются именно в таких условиях: при относительной влажности воздуха более 60% на их поверхности конденсируется влага, которая при нынешнем состоянии окружающей среды неизбежно загрязняется кислотами и солями.

Методы защиты металлических корпусов выбираются в зависимости от типа материала и доминирующего вида коррозии в предполагаемых условиях эксплуатации. По механизму

действия методы защиты можно разделить на 2 основные группы:

- электрохимические методы, оказывающие влияние на потенциал металла;
- механические методы, основанные на создании защитных покрытий, изолирующих металл от воздействия окружающей среды.

К первой группе, в частности, относится легирование. Например, легирование железа хромом переводит железо в устойчивое пассивное состояние. Полученные таким образом сплавы называют нержавеющими сталями (Stainless steel). Из нержавеющей стали изготавливаются, к примеру, корпуса для взрывоопасных условий применения фирмы Rose (рис. 6). Коррозионную стойкость материалов таких корпусов можно ориентировочно оценить, используя таблицу 3. Дополнительное легирование нержавеющей сталей никелем (сплав Monel) устраняет их склонность к точечной коррозии в морских условиях.

В качестве примера использования механических методов защиты можно рассмотреть окрашивание металла порошковой композицией, содержащей плёнкообразующие вещества, пигменты и наполнители. При нагревании детали с нанесённым слоем порошка образуется защитное покрытие, устойчивое к абразивным воздействиям, со сроком службы, превышающим порой срок службы окрашенного изделия. В таблице 3 приведены данные по коррозионной стойкости стальных корпусов, покрытых порошковой краской с эпоксидным (Steel, epoxy powder-coated) и полиэфирным (Steel, polyester powder-coated) плёнкообразователями. В промышленности применяют различные способы нанесения порошка, но наибольшее распространение получил способ напыления в электрическом поле (заряжен-



Рис. 6. Корпуса из нержавеющей стали для взрывоопасных условий применения

Таблица 3. Ориентировочные оценки пригодности металлов к использованию в определённых средах

Коррозионная среда \ Материал	Aluminium (алюминий)	Steel, epoxy powder-coated (сталь, окрашенная краской с эпоксидным пленкообразователем)	Steel, polyester powder-coated (сталь, окрашенная краской с полиэфирным пленкообразователем)	Steel, stainless, type 304, type 316 (нержавеющая сталь 304/316)	Monel (сплав Monel)
Керосин	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Ацетон	1-1-1	2-2-2	2-2-3	1-1-1	1-1-1
Борная кислота, 10%	1-2-2	1-1-1	1-4-4	1-1-1	1-1-1
Хлорид кальция, 10%	2-2-3	1-1-2	1-4-4	1-1-1	1-1-1
Карболовая кислота (фенол), 25%	1-2-2	4-4-4	4-4-4	1-1-1	1-1-1
Лимонная кислота, 10%	2-4-4	4-4-4	1-4-4	1-1-1	1-1-1
Дистиллированная вода	1-2-4	1-1-2	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Этиловый спирт	1-1-1	1-1-2	2-2-2	1-1-1	1-1-1
Этиленгликоль	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Хлорное железо, 10%	4-4-4	4-4-4	4-4-4	3-4-4	3-4-4
Тормозная жидкость	1-1-1	4-4-4	4-4-4	1-1-1	1-1-1
Фосфорная кислота, 50%	4-4-4	4-4-4	4-4-4	1-1-1	1-1-1
Морская вода	3-3-3	1-1-1	4-4-4	1-1-1	1-1-1
Моторное масло	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1	1-1-1
Бензин	1-1-1	1-1-1	2-2-2	1-1-1	1-1-1

Примечание. В таблице использована та же система оценки коррозионной стойкости, что и в таблице 1.

ные частицы порошка осаждаются на детали с зарядом противоположного знака). Таким способом наносится покрытие, например, на большинство панелей напольных и настенных шкафов фирмы Schroff.

Защитные покрытия могут быть не только полимерными, но и металлическими. Для их нанесения применяются электрохимические (гальванические покрытия) и химические методы осаждения металлов. Широко используется также горячий способ нанесения покрытий из расплавов цинка, олова и алюминия. Например, многие внутренние детали шкафов Proline (Schroff) изготовлены из стального листа, покрытого алюмоцинком (сплавом Al-Zn). Защитные покрытия могут также состоять из оксидных, фосфатных, хроматных, фторидных и других сложных неорганических соединений. Неорганические покрытия наносятся химическим и электролитическим методами (оксидирование, фосфатирование, анодирование). Например, анодирование ши-

роко используется для защиты алюминиевых деталей 19" субблоков, лицевых панелей модулей и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует напомнить, что при выборе корпуса для работы в агрессивной среде не стоит ограничиваться только анализом коррозионной стойкости того или иного материала

(рис. 7). Не менее важным является следующий этап — выбор изготовителя. Далеко не каждая фирма может наладить эффективную систему обеспечения качества, включающую входной контроль материалов, тщательную подготовку поверхностей для нанесения защитных покрытий, а также рациональное конструирование, позволяющее исключить неблагоприятные контакты раз-

нородных металлов, устранить уязвимые для коррозии щели, зазоры и т.д. И хотя стоимость продукции гарантированного качества иногда находится в верхней ценовой категории, затраты, как правило, окупаются — не приходится платить дважды. Надеюсь, что приведенная в статье информация поможет разработчику аппаратуры оптимизировать затраты за счет реального учета условий, в которых предполагается эксплуатировать его изделие. ●

**Автор — сотрудник
фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (812) 325-3790
Факс: (812) 325-3791
E-mail: bel@spb.prosoft.ru**

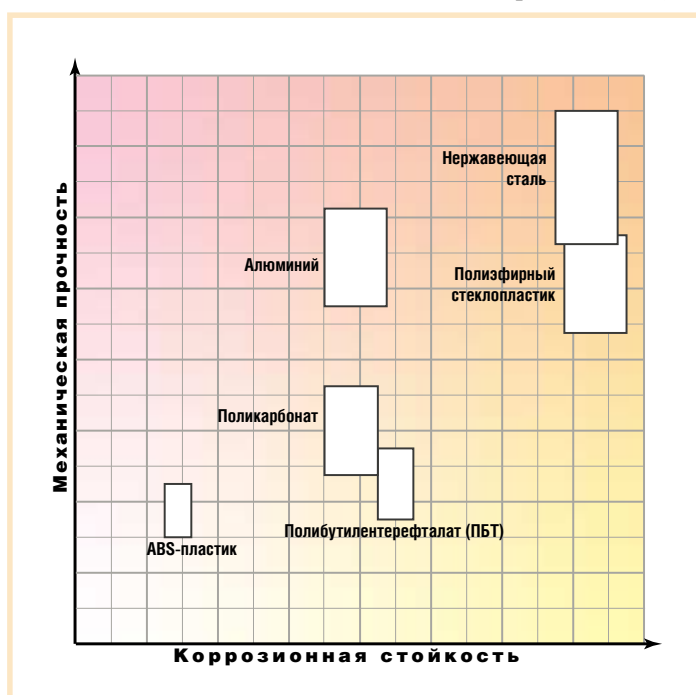


Рис. 7. Соотношение коррозионной стойкости и механической прочности материалов корпусов