

# Стандарт IPC-4101C и серия IPC-6010

В первой статье [1] мы рассмотрели необходимость разработки печатных плат в соответствии с серией стандартов IPC-2220. При этом разработчики электронных устройств должны уделять внимание множеству параметров, таких как тип материала, технологичность, электрические характеристики, а также вопросам, связанным с компонентами и сборкой изделия. Кроме того, необходимо определить требования к контактным площадкам и поясам в соответствии со стандартом IPC-7351A таким образом, чтобы обеспечивалось правильное формирование паяного соединения. Это позволяет избежать излишних затрат на ремонт, а также повысить качество и надежность электронного изделия, в которое устанавливается данный печатный узел.

Ларс Валлин  
(Lars Wallin)

LarsWallin@ipc.org

Во второй статье серии мы более подробно рассмотрим специализированный стандарт по базовым материалам IPC-4101C и серию стандартов IPC-6010, посвященную общим требованиям для поставщиков и пользователей ПП и их обязанностям.

## IPC-4101C. Характеристики базовых материалов жестких и многослойных печатных плат

Этот документ содержит требования к базовым материалам, в данном случае — к фольгированным диэлектрикам и препрегам, которые применяются в жестких или многослойных печатных платах, используемых при изготовлении электрических и электронных устройств.

Данный стандарт IPC включает множество параметров, которые должен учитывать каждый конструк-

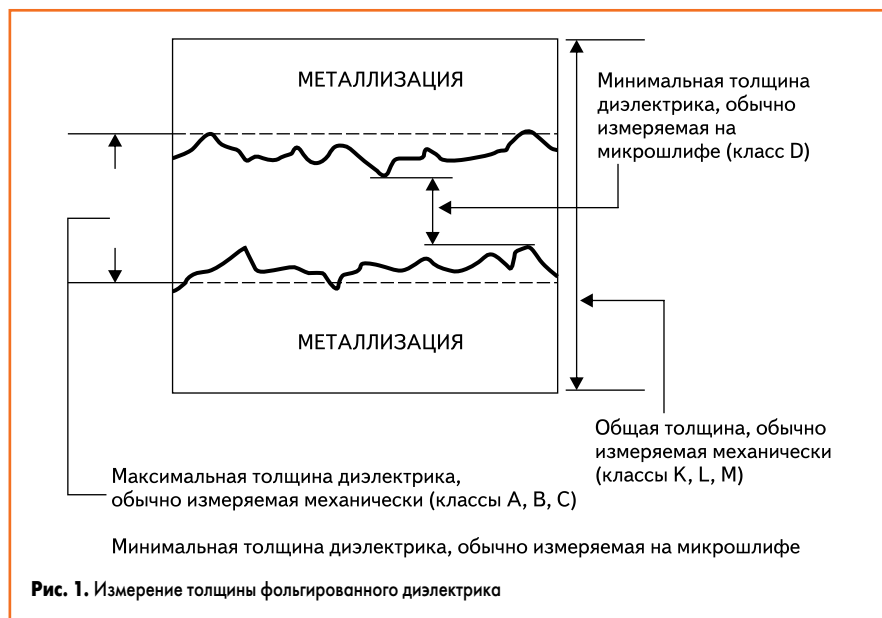
тор печатных плат при принятии решения о выборе материала для определенной платы.

Одним из важнейших моментов, требующих понимания, является то, что толщина изоляции базового материала не постоянна, она может изменяться, и ее измерение по стандарту IPC должно производиться так, как показано на рис. 1.

Стойкость к возгоранию — еще один момент, который может быть крайне важным. При испытании образцов в соответствии с требованиями к горючести по стандарту UL94 уровень горючести должен отвечать указанному в соответствующей спецификации и таблице 1. Для материалов, описанных в данном документе, допускается дополнительная выдержка в течение 24 часов при температуре 125 °C. Если в соответствующей спецификации указано «не применяется», «требований нет» или «по согласованию между потребителем и поставщиком», испытания материала на горючесть и запись результатов данных испытаний должны производиться в процессе оценки изготовителя материала. Если в качестве средства противодействия горению в спецификации указан «бромовый ингибитор, соответствующий RoHS», это следует понимать так, что бромовый ингибитор горения соответствует требованиям директивы EC RoHS (Restriction of Hazardous Substances), ограничивающей содержание вредных веществ.

Таблица 1. Требования к горючести

Свойство	Требование	
	Обозначение	
Горючесть	V-0	V-1
Время горения после каждого воздействия огня для каждого испытываемого образца	≤10 с	≤30 с
Общее время горения для 10 воздействий огня для каждого набора из пяти образцов	<50 с	<250 с
Время тления после второго удаления испытательного пламени	≤30 с	≤60 с
Горение или тление до держателя	Нет	Нет
Падение горящих частиц, поджигающих папиросную бумагу	Нет	Нет



**Таблица 2.** Ключевые слова

по составу материала и соответствующие им спецификации базовых материалов стандарта

Состав материала	Применимые спецификации
БТ (бисмалеимид триазин)/эпоксид/стеклоткань	/30
Эфир цианата/aramидная ткань	/54
Эфир цианата/стеклоткань	/71
Эфир цианата/стеклоткань S-2	/70
Эфир цианата/кварцевая ткань	/61
Эпоксид/эфир цианата/стеклоткань	/29
Эпоксид/неэпоксидный/нетканое арамидное волокно	/58
Эпоксид/неэпоксидный/стеклоткань	/28
Эпоксид/нетканое арамидное волокно	/55
Эпоксид/бумага	/04
Эпоксид/полифенилен оксид/стеклоткань	/25, /103
Эпоксид/aramидная ткань	/50
Эпоксид/стеклоткань	/20, /21, /22, /23, /24, /26, /27, /82, /83, /92, /93, /94, /95, /97, /98, /99, /101, /121, /122, /124, /125, /126, /127, /128, /129, /130, /131
Эпоксид/стеклоткань/нетканое стекловолокно	/12, /16, /81

**Таблица 3.** Ключевые слова стандартов ANSI и военных стандартов и соответствующие им спецификации базовых материалов стандарта

Обозначения ANSI или воен.	Применимые спецификации
CEM-1	/10, /15, /80
CEM-3	/12, /14, /16, /81
CRM-5	/11
FR-1	/02
FR-2	/03, /05
FR-3	/04
FR-4	/21, /24, /26, /27, /82, /83, /92, /93, /94, /95, /97, /98
FR-5	/23
G-10	/20
G-11	/22
XPC	/00
XXXPC	/01
GFN	/21, /24, /97, /98
GFT	/26, /28
GPY	/30, /40, /41, /42

В стандарте IPC-4101С имеются таблицы для поиска по ключевым словам определенного типа, содержащие все спецификации, в которых применяются эти ключевые слова (табл. 2, 3).

Данный документ содержит 66 отдельных спецификаций, которые могут быть найдены с помощью ключевых слов. Пример спецификации из стандарта приведен в таблице 4. Ключевые слова (табл. 2, 3) позволяют пользователю стандарта найти материалы, близкие по своей природе, но отличающиеся определенными свойствами, что обеспечивает возможность точного подбора фольгированного диэлектрика и/или препрега под определенные потребности. В редакцию С вошло 11 новых спецификаций, большое

**Таблица 4.** Одна из 66 спецификаций стандарта IPC-4101С

Требования к материалу					
Требование к материалу	Характеристика <0,50 мм (0,0197")	Характеристика ≥0,50 мм (0,0197")	Единицы	Методика испытания	См. п.
1. Прочность на отрыв, мин. А. Низкопрофильная и сверхнизкопрофильная медная фольга — все виды медной фольги >17 мкм (0,669 mil) В. Медная фольга стандартного профиля 1. После теплового напряжения 2. При 105°C (221°F) 3. После воздействия растворов процесса С. Все остальные типы фольги — композиты	—	— 1,05 (6,00)	Н/мм (фунт/дюйм)	2.4.8 2.4.8.2 2.4.8.3	3.9.1.1 3.9.1.1.1 3.9.1.1.2 3.9.1.1.3
2. Объемное сопротивление, мин. А. С-96/35/90 В. После воздействия влаги С. При повышенной температуре E-24/125	— — —	10 <sup>4</sup> — —	МОм·см	2.5.17.1	3.11.1.3
3. Поверхностное сопротивление, мин. А. С-96/35/90 В. После воздействия влаги С. При повышенной температуре E-24/125	— — —	10 <sup>3</sup> — —	МОм	2.5.17.1	3.11.1.4
4. Влагопоглощение, макс.	—	1,3	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5. Напряжение электрического пробоя, мин.	—	15	кВ	2.5.6	3.11.1.6
6. Проницаемость при 1 МГц, макс. (фольгированный диэлектрик и фольгированный препрег)	—	4,8	—	2.5.5.2 2.5.5.3 2.5.5.9	3.11.1.1 3.11.2.1
7. Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц, макс. (фольгированный диэлектрик и фольгированный препрег)	—	0,04	—	2.5.5.2 2.5.5.3 2.5.5.9	3.11.1.2 3.11.2.2
8. Прочность на изгиб, мин. А. В продольном направлении В. В поперечном направлении	— —	83 (12,040) 72 (10,440)	Н/мм <sup>2</sup> (фунт/дюйм <sup>2</sup> )	2.4.4	3.9.1.3
9. Прочность на изгиб при повышенной температуре, в продольном направлении, мин.	—	—	Н/мм <sup>2</sup> (фунт/дюйм <sup>2</sup> )	2.4.4.1	3.9.1.4
10. Электродугостойкость, мин.	—	—	с	2.5.1	3.11.1.5
11. Тепловое напряжение 10 с при 260 °C (500 °F), мин. Примечание: использовать отдельный образец.	—	Визуальная проверка	Оценка	2.4.13.1	3.10.1.2
12. Электрическая прочность, мин. (фольгированный диэлектрик и фольгированный препрег)	—	—	кВ/мм	2.5.6.2	3.11.1.7 3.11.2.3
13. Горючесть (фольгированный диэлектрик и фольгированный препрег)	—	НВ мин.	Оценка	UL94	3.10.2.1 3.10.1.1
14. Прочее	—	—	—	—	—

количество фольгированных диэлектриков и препрегов, имеющих в настоящее время на рынке.

### Серия стандартов IPC-6010 по оценке параметров и характеристикам печатных плат

Стандарт IPC-6011 предоставляет информацию по основным характеристикам печатных плат. Эта информация должна быть также дополнена документами, содержащими требования к выбранной технологии. При совместном использовании эти документы позволят производителю и клиенту прийти к единым критериям приемки. На рис. 2 показана структура документов серии. Пояснения:

- IPC-6011. Общие требования к печатным платам.
- IPC-6012В. Оценка параметров и характеристики жестких печатных плат — с изменением 1.

- IPC-6013В. Оценка параметров и характеристики гибких печатных плат.
- IPC-6015. Оценка параметров и характеристики монтажных и коммутационных изделий для органических и многокристалльных модулей.
- IPC-6016. Оценка параметров и характеристики для слоев и плат высокой плотности (HDI).
- IPC-6018А. Контроль и испытания конечных изделий СВЧ-техники.

В статье основное внимание уделяется содержанию стандарта IPC-6012В, представляющему собой параметры, предназначенные для использования в качестве подробных характеристик и критериев качества жестких печатных плат.

Стандарт IPC-6012В содержит общую информацию о:

- материалах;
- паяльной маске;
- металлизации и финишных покрытиях;

- геометрических размерах и отверстиях;
- проводниках, изоляции и печатном рисунке;
- изгибе и кручении;
- микрошлифах;
- электрических требованиях;
- очистке.

Приведем несколько примеров из некоторых указанных разделов, которые представляют собой лишь малую часть информации, имеющейся в стандарте IPC-6012B.

Вообще говоря, документация, сопровождающая поставку, должна определять требования, которые могут быть выбраны из данной спецификации. Однако в случае если выбор в документации не отражен, следует пользоваться таблицей 5.

Таблица 5. Требования по умолчанию

Категория	Выбор по умолчанию
Класс изделия	Класс 2
Материал	Стеклоэпоксидный композит (стеклотекстолит на основе эпоксидной смолы)
Финишное покрытие	Покрытие типа X (электроосажденный сплав олово-свинец, оплавленный или покрытый припоем)
Минимальная исходная толщина фольги	1/2 oz (17,5 мкм) — для всех внутренних и внешних слоев, кроме типа 1, для которого начальная толщина должна оставлять 1 oz (35 мкм)
Тип медной фольги	Электроосажденная
Допуск на диаметр отверстия	
Металлизированное монтажное	±100 мкм (3,937 микродюйма)
Металлизированное переходное	+80 мкм (3,150 микродюйма), отрицательное отклонение не установлено, отверстие может быть полностью или частично заполнено
Неметаллизированное	±80 мкм (3,150 микродюйма)

Таблица 6. Минимальный пояс

Характеристика	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Металлизированное сквозное отверстие на внешнем слое	Разрыв пояса не более 180° по отверстию по визуальной оценке.	Разрыв пояса не более 90° по отверстию по визуальной оценке.	Минимальный пояс должен составлять 50 мкм (1,969 микродюйма).
	Соединение проводника и площадки не должно уменьшаться больше, чем на допустимое уменьшение ширины проводника, указанное в п. 3.5.3.1.	Соединение проводника и площадки не должно уменьшаться больше, чем на допустимое уменьшение ширины проводника, указанное в п. 3.5.3.1.	Соединение проводника и площадки не должно уменьшаться больше, чем на допустимое уменьшение ширины проводника, указанное в п. 3.5.3.1.
	Соединение проводника и площадки не должно уменьшаться больше, чем на допустимое уменьшение ширины проводника, указанное в п. 3.5.3.1.	Соединение проводника и площадки не должно быть менее 50 мкм (1,969 микродюйма) или минимальной ширины проводника, что меньше.	Минимальный пояс на внешнем слое может быть уменьшен на 20% по отношению к минимальному размеру пояса в местах отсутствия проводников в силу таких дефектов, как выемки, вмятины, насечки, кратеры и расширения отверстий в пояске в местах отсутствия проводников.

Таблица 7. Норма выборки для определения числа микрошлифов

Размер партии	Класс 1				Класс 2				Класс 3			
	2,5*	4,0*	6,5*	1,5*	2,5*	4,0*	0,10*	1,0*	2,5*	4,0*		
1-8	5	3	2	**	5	3	**	**	5	3		
9-15	5	3	2	8	5	3	**	13	5	3		
16-25	5	3	3	8	5	3	**	13	5	3		
26-50	5	5	5	8	5	5	**	13	5	5		
51-90	7	6	5	8	7	6	**	13	7	6		
91-150	11	7	6	12	11	7	125	13	11	7		
151-280	13	10	7	19	13	10	125	20	13	10		
281-500	16	11	9	21	16	11	125	29	16	11		
501-1200	19	15	11	27	19	15	125	34	19	15		
1201-3200	23	18	13	35	23	18	125	42	23	18		
3201-10 000	29	22	15	38	29	22	192	50	29	22		
10 001-35 000	35	29	15	46	35	29	294	60	35	29		

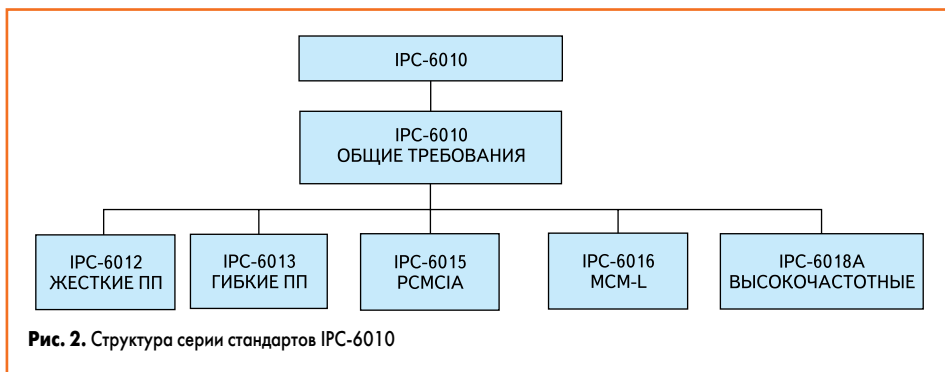


Рис. 2. Структура серии стандартов IPC-6010

Обратите внимание, что выбор класса 1, 2 или 3 может быть выполнен в рамках обсуждений между клиентом и поставщиком. Если в отношении определенного параметра ничего не указано, выбор по умолчанию должен соответствовать классу 2.

Материалы, примененные в данной спецификации, необходимо выбирать из стандартов IPC-4101, IPC-4202, IPC-4203 или NEMA LI-1. Материалы типа политетрафторэтилена (ПТФЭ) необходимо выбирать из стандарта IPC-4103. Материалы для выполнения изделий со встроенными пассивными компонентами должны быть приведены в сопровождающей документации с указанием, при необходимости, диэлектрических, проводящих, резистивных и изоляционных характеристик. Номер спецификации, тип и толщина (вес) металлического покрытия должны быть указаны в сопровождающей документации. Если имеются специальные требования, например, по горючести пластика или соединительных материалов в соответствии со стандартом UL94, необходимо указать данные тре-

бования в документации, сопровождающей поставку материала.

Что касается точности отверстий и печатного рисунка, допуски на размеры отверстий и точность расположения отверстий и элементов рисунка должны соответствовать сопровождающей документации. Допуск на размер готового отверстия следует контролировать на выборочной основе для всех диаметров отверстий, имеющих в конструкции. Количество измерений для каждого диаметра отверстий производитель должен определять так, чтобы обеспечить адекватный объем выборки.

Относительно пояска контактной площадки и выхода отверстия за ее пределы (на внешних слоях) указывается, что минимальный поясок на внешнем слое должен соответствовать требованиям, представленным в таблице 6. Измерение пояска на внешних слоях осуществляется от внутренней поверхности металлизированного отверстия (внутри него), либо неметаллизированного отверстия, до внешнего края пояска на поверхности платы, как показано на рис. 3. Для классов 1 и 2 внешние металлизированные отверстия, играющие роль переходных (то есть в которые не монтируется компонент), могут выходить за пределы пояска, образуя угол разрыва до 90°. Готовые платы

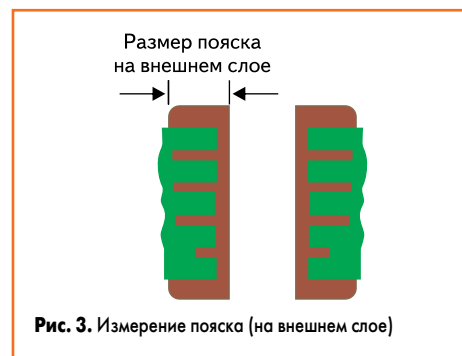


Рис. 3. Измерение пояска (на внешнем слое)

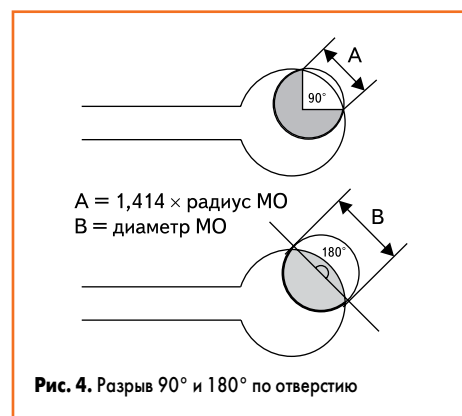


Рис. 4. Разрыв 90° и 180° по отверстию

с соответствующими разрывами пояски должны отвечать требованиям стандарта к электрическим характеристикам (рис. 3, 4).

Когда поставщик изготовил плату в соответствии с согласованными требованиями (класс 1, 2 или 3) по стандарту IPC-6012B, наступает время проверить, действительно ли плата обладает заданными параметрами. Норма выборки задается в соответствии с таблицей 7.

Кроме микрошлифов, поставщик должен выполнить дополнительные испытания в соответствии со специальным планом. Несколько примеров приведено в таблице 8.

Следующим шагом является проверка изготовленных печатных плат на соответствие стандарту IPC-600G (критерии приемки печатных плат), о чем пойдет речь в следующей статье.

### Литература

1. Валлин Л. Использование стандартов IPC на всех этапах производства электроники. Стандарты серии IPC-2220 и IPC-7351A // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 1.

**Таблица 8.** Приемочные испытания и периодичность

Контроль	Пункт требований и методики	Выборка		Периодичность испытаний			
		Изготовленная плата	Контрольные купоны на плате	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Примечание
Материал	3.2.1–3.2.14			Сертификация производителя			Доступный для проверки сертификат соответствия или программа статистического управления процессами
<b>Визуальный</b>							
Кромки платы	3.3.1	X		Выборка (4,0)	Выборка (2,5)	Выборка (2,5)	По платам
Дефекты базового материала	3.3.2	X		Выборка (4,0)	Выборка (2,5)	Выборка (2,5)	По платам
Пустоты в МО (металлизированных отверстиях)	3.3.3	X		Выборка (4,0)	Выборка (2,5)	Выборка (1,0)	По панелям
Поднятые (отслоившиеся) КП (контактные площадки)	3.3.4	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам
Маркировка и прослеживаемость	3.3.5	X	Купоны и платы	Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам
Качество исполнения	3.3.9	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам
<b>Паяемость</b>							
Поверхность	3.3.6		M	Выборка (4,0)	Выборка (2,5)	Выборка (2,5)	По панелям
Отверстие	3.3.6		A <sub>1</sub> или A/B, или S	Выборка (4,0)	Выборка (2,5)	Выборка (2,5)	По панелям
<b>Размеры</b>							
Размеры платы	3.4	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам
Размеры отверстий	3.4.1	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам
Точность расположения отверстий	3.4.1	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	Допускается сертификация поставщика
Точность элементов рисунка	3.4.1	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	Допускается сертификация поставщика
Пояски КП (контактных площадок) (внешние слои)	3.4.2	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По панелям
Изгиб и кручение	3.4.3	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам
Покрытие паяльной маской	3.7–3.7.1	X		Выборка (6,5)	Выборка (4,0)	Выборка (4,0)	По платам