

Оптимизация технологии сверления для достижения показателей 7-го класса точности

С увеличением сложности плат и уменьшением диаметров отверстий невозможно добиться положительных результатов сверления без тщательного анализа факторов, влияющих на качество.

Лев Громов

gromov@petrocom.ru

Одним из китов, на которых стоит технология сверления, является корректный подбор параметров данного процесса. На многих предприятиях в лучшем случае довольствуются режимами, предлагаемыми фирмами, выпускающими инструмент, оборудование и материалы. Безусловно, нужно учитывать такие советы, однако здесь возникает вопрос: «Кто прав?». В таблице 1 приведен пример режимов сверления отверстий диаметром 0,25, рекомендованных производителями инструмента HAM, HPТec, Union Tools и изготовителем фольгированного стеклотекстолита Isola.

Приведенные режимы отличаются по ключевым параметрам — скорости резания и подачи на один оборот шпинделя.

На практике ни один из предложенных режимов не может обеспечить оптимального результата. Для достижения высокой точности и качества отверстий необ-

ходимо проводить отработку режимов не только для каждого типа и диаметра инструмента, но и для каждого типа плат, дифференцируя их и по материалу, и по количеству слоев. При этом отталкиваться нужно от подбора двух основных параметров, упомянутых выше: линейной скорости резания и рабочей подачи на один оборот.

Оптимальной линейной скоростью резания для МПП из FR4 обычно принято считать 150 м/мин. Эта скорость рассчитывается по следующей формуле:

$$V_s = (d\pi n)/1000 \text{ м/мин,}$$

где d — диаметр инструмента в миллиметрах, n — скорость вращения шпинделя в оборотах в минуту.

Нетрудно рассчитать, что для сверления отверстия диаметром 0,1 мм для сохранения скорости резания необходим шпиндель со скоростью вращения почти 500 000 об./мин (рис. 1).

Этот момент справедливо приводит нас к вопросу о выборе сверлильного станка, в частности, каким шпинделем он будет укомплектован.

На сегодня самый быстрый серийный шпиндель способен развивать скорость вращения до 370 000 об./мин, однако даже этого недостаточно для обеспечения принятой скорости резания.

Тем не менее на многих предприятиях успешно выполняют сверление отверстий 0,1 на шпинделях, чья максимальная скорость в некоторых случаях достигает лишь 125 000 об./мин.

Таким образом, практика показывает, что достижение оптимальной линейной скорости резания является желательным, но не критичным фактором.

Справедливо возникает вопрос о необходимости и целесообразности комплектования оборудования дорогими высокоскоростными шпинделями. При этом не нужно забывать о следующих нюансах: все высокоэффективные шпиндели, развивающие скорость вращения больше 200 000 об./мин, имеют впрессованную кангу. Это означает, что при ее замене в случае износа или повреждения шпиндель придется полностью демонтировать и отправлять в специализированный сервисный центр для перепрессовки и балансировки канги. Кроме того, чем выше скорость шпинделя, тем меньше диапазон диаметров отверстий, например максимальный диаметр отверстия для шпинделя со скоростью вращения 250 000 об./мин — 5 мм, а для шпинделя со скоростью 300 000 об./мин — 3 мм.

Таблица 1. Рекомендуемые режимы сверления отверстий диаметром 0,25

Производитель	Скорость вращения шпинделя, тыс. об./мин	Подача, м/мин	Подача на 1 оборот, мкм	Скорость резания, м/мин
HAM	180	3,6	20	141,3
HPТec	191	2,9	15	150
Union Tools	191	3,8	19,9	150
Isola DE104	125	2,5	20	98,13
Isola 370HR	115	1,85	16	90,28

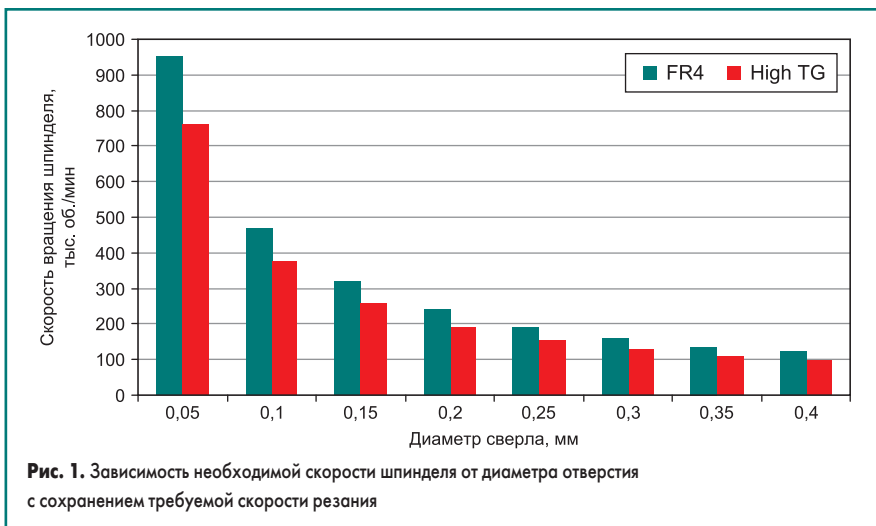


Рис. 1. Зависимость необходимой скорости шпинделя от диаметра отверстия с сохранением требуемой скорости резания

Таблица 2. Количество отверстий, выходящих за предел допуска

Кол-во отверстий	Инструмент									
	Union Tools					HP Tec				
	Материал									
	LX-190		Алюминий			LX-190		Алюминий		
>15 мкм	>20 мкм	>15 мкм	>30 мкм	>50 мкм	>15 мкм	>20 мкм	>15 мкм	>30 мкм	>50 мкм	
Скорость шпинделя 188 000 об./мин										
1–500	1	0	34	4	0	0	0	21	1	0
501–1000	5	0	45	11	3	0	0	34	0	0
1001–1500	14	0	58	13	3	0	0	55	1	0
1501–2000	13	0	70	11	2	0	0	77	13	0
2001–2500	11	0	80	19	1	1	0	64	14	3
2501–3000	19	0	108	34	6	13	0	72	9	0
Скорость шпинделя 250 000 об./мин										
1–500	0	0	75	58	5	0	0	65	52	47
501–1000	0	0	29	9	0	0	0	21	6	1
1001–1500	1	0	28	11	1	0	0	33	6	1
1501–2000	2	0	43	15	0	0	0	38	4	0
2001–2500	1	0	50	13	4	2	0	62	15	1
2501–3000	7	0	61	14	4	1	0	89	28	2

Таблица 3. Условия эксперимента

Скорость вращения шпинделя	239 000 об./мин
Скорость вертикальной подачи	2,15 м/мин
Скорость обратной подачи	8 м/мин
Ресурс инструмента	3000 отверстий одним сверлом

При необходимости выполнять отверстия не менее 0,1 мм целесообразнее комплектовать станок таким шпинделем, как T188, чья скорость вращения (как видно из названия модели) вплотную приближается к 200 000 об./мин, однако он не имеет вышеуказанных недостатков и способен одинаково эффективно сверлить отверстия диаметром 0,1–6,3 мм.

Безусловно, если требуются отверстия диаметром от 50 мкм, нужно выбирать шпиндель, развивающий скорость до 300 000 об./мин, хотя в таком случае есть повод задуматься о лазерном сверлении.

Не редки случаи, когда даже при использовании высокоскоростных шпинделей и подобных режимов точность сверления микроотверстий оставляет желать лучшего.

Как показывает практика, еще одним чрезвычайно важным, а иногда и критичным фактором, влияющим на результат сверления, является сборка самого пакета заготовок и используемые вспомогательные материалы.

Компанией «Петрокоммерц» был проведен эксперимент, в задачи которого входил анализ степени влияния различных факторов на точность сверления.

Эксперимент проводился на оборудовании компании Schmolz с установленными шпинделями, развивающими скорость 188 000 и 250 000 об./мин с применением различных вспомогательных материалов.

Параметры теста:

- оборудование: Modul 188, Modul 250 (Schmolz-Maschinen);
- материал: FR4;
- количество слоев: 10;
- толщина платы: 1,6 мм;
- количество отверстий: 3110;
- диаметр сверла: 0,2;
- марка сверл: HP Tec, Union-Tools;

Таблица 4. Результаты эксперимента

	Union Tool Co.	T.C.T.	Kyocera	HP Tec
По точности сверления				
Среднее отклонение, мм с 1 по 3000 отверстие	0,01516	0,0153	0,01646	0,01422
Распределение результатов	2	1	0	3
Среднее отклонение, мм с 1000 по 3000 отверстие	0,01561	0,0159	0,01761	0,01476
Распределение результатов	2	1	0	3
Среднее отклонение, мм с 2000 по 3000 отверстие	0,01644	0,0164	0,0178	0,01499
Распределение результатов	1	2	0	3
Общее распределение результатов	5	4	0	9
По износостойкости инструмента				
Качество инструмента к износу	1	3	0	2
По качеству отверстий				
Качество стенки	0	2	1	3
Качество столбика	1	2	0	3
Качество металлизации	0	1	3	2
Общее распределение результатов	1	5	4	8
Суммарные баллы				
Итого	7	12	4	19

- сверление выполнялось с применением алюминия 0,18 мм и прокладочного материала LX190 производства SANG-A FRONTEC. Режимы сверления:
- S 238, F2.1, R8;
- S 186, F1.6, R4.

В таблице 2 приведено число отверстий, выходящих за предел допуска, указанного в соответствующем столбце (15, 20, 30 мкм), на отклонение отверстия по вектору XY от заданных координат.

Как видно из таблицы, при прочих равных алюминиевая прокладка не позволяет добиться оптимального результата по точности даже с помощью высокоскоростного шпинделя. В свою очередь, применение в качестве верхней прокладки материала LX190 производства компании SANG-A FRONTEC гарантирует максимальную точность сверления (<15 мкм) даже на шпинделе с меньшей скоростью вращения. Красным в таблице выделена строка, отражающая точность сверления первых 500 отверстий на скоростном шпинделе с применением алюминия. Как было установлено, при сборке пакета допущен брак и первый ряд отверстий попал на царапину на алюминии (рис. 2).

Зачастую подобные дефекты прокладочного материала сложно заметить своевременно, особенно при массовом производстве, однако их значение очень велико и в считанные секунды превращает в мусор сложную дорогую заготовку печатной платы.

При применении специальных материалов, например серии LX производства компании SANG-A FRONTEC, подобная ситуация исключена, так как верхний слой материала представляет собой вязкий «лубрикант», обеспечивающий не только охлаждение инструмента, но и его центровку при входе в материал.

Выбор инструмента также немаловажный фактор. Как видно из результатов эксперимента, точность сверления инструментом Union Tool на скорости 250 000 об./мин ниже, чем точность инструмента HP Tec на 188 000 об./мин.

Нашими коллегами был проведен подобный эксперимент для обоснования выбора того

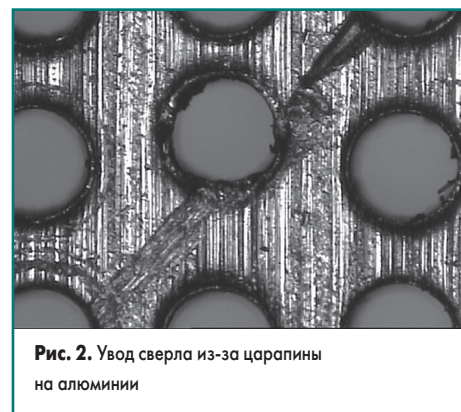


Рис. 2. Увод сверла из-за царапины на алюминии

или иного инструмента. Полученные данные представлены в таблице 3.

Суть эксперимента заключалась в сверлении 10-слойной заготовки инструментом от четырех разных производителей, после чего оценивались следующие параметры:

1. Точность сверления, включая увод сверла в заготовке.
2. Качество отверстий (качество стенок и металлизации).
3. Износостойкость инструмента.

Результаты эксперимента сведены в таблице 4. Для удобства сравнения в зависимости от результата между «конкурсантами» распределялись баллы: 0 баллов — самый плохой результат, 3 балла — самый хороший.

В результате проведенного эксперимента по сумме баллов первое место занял инструмент производства HP Tec (Германия), набрав 19 баллов из 21 возможного.

Этот эксперимент служит образцом того, как нужно подходить к выбору инструмента, и наглядно отражает влияние инструмента на результат.

Таким образом, внимательное отношение к процессу сверления, определение режимов и правильный выбор инструмента не только обеспечит повышение класса точности ПП без дополнительных затрат на дорогостоящее оборудование, но и позволит сэкономить как за счет повышения выхода годных плат, так и за счет увеличения ресурса инструмента.