

Выбор режущего инструмента

В настоящее время известно достаточно много фирм, производящих инструмент для обработки печатных плат (ПП). В связи с уменьшением доли производства ПП в США, Канаде и Западной Европе между производителями инструмента обострилась конкурентная борьба за рынок сбыта. Для продвижения своего товара фирмы стали использовать буклеты с информацией о повышенных скоростях резания и о таких нововведениях, как стальная державка (хвостовик) или загадочная геометрия режущих кромок. Как в такой ситуации ориентироваться специалисту, что купить для конкретного применения? Ответ на поставленные вопросы и дает эта статья.

Сергей Новокрещенов

techno@elserv.ru

Специалистам девяностых годов прошлого столетия хорошо известны отечественные предприятия, которые производили режущий инструмент — Сестрорецкий, Вильнюсский и Минский заводы, а из зарубежных фирм — НАМ, Hawera, Kemmer Präzision и др. У технологи прошлых лет был ограниченный выбор режущего инструмента, а зарубежные предложения были достаточно дороги, поэтому специалистам оставалось уповать только на хорошо подобранные режимы обработки и высокую культуру производства. С тех пор изменилось многое. Возросли требования к отверстиям в ПП, возникла необходимость в прецизионном сверлении, в получении глухих отверстий и микропереходов, появилась необходимость в обработке новых радиотехнических материалов. На это изготовители инструмента безотлагательно отреагировали новыми разработками и усовершенствованием уже имеющихся. Реалии сегодняшнего дня внесли свои коррективы, и на российском рынке стали появляться новые предложения из Юго-Восточной Азии, Армении, Японии, Швейцарии и Германии от фирм Xian Weihe Precision Tool, Jinzhou, Inkok, Astra, Union Tool, Kemmer, Hawera, НАМ.

Сверление

Для того чтобы можно было сравнить инструмент и понять особенности геометрии сверла разных производителей, рассмотрим сверла в двух классификациях — в зависимости от диаметра и технологического предназначения. По величине рабочего диаметра инструмент можно условно разделить на четыре подгруппы: микросверла, диаметр которых 0,30 мм и меньше; минисверла, диаметр которых лежит в диапазоне от 0,25 до 0,45 мм; среднего диаметра — от 0,45 до 3,00 мм и сверла большого диаметра — от 3,00 мм и выше. По технологическому предназначению сверл инструмент можно разделить на 5 подгрупп:

- для прецизионного сверления;
- сверла для создания микропереходов;
- сверла для сложных МПП;

- стандартные (обработка ДПП и МПП с малым числом слоев);
- слотовые сверла.

В зависимости от того, в какую подгруппу попадает инструмент, меняется геометрия его заточки, подъем винтовой канавки, а также изменяется состав материала.

Сегодня успех механообработки зависит от материала сверла или фрезы, от правильности выбора режущего инструмента для поставленной задачи, от культуры изготовления инструмента и, наконец, от режимов резания.

Определилась четкая специализация фирм в выпуске исходного материала для производства твердого сплава, включая спекание исходных материалов в заготовки. Другие фирмы, чтобы удешевить свои изделия и не зависеть от размеров исходной заготовки, открывают свое производство получения «куколки» с дальнейшей обработкой ее до готового изделия. Мировыми лидерами в производстве твердых сплавов являются Hartmetall, Sandvik, Kennametal, Mitsubishi Carbide, Plansee Tizit и другие. При выборе поставщика нужно отдавать себе отчет, что заявленные характеристики инструмента будут обеспечиваться только в том случае, если указанные фирмы снабжают готовыми заготовками заводы, обрабатывающие их. Не секрет, что изделия, изготовленные из одного и того же исходного сырья (порошки карбидов металлов), не всегда обладают заявленными характеристиками, так как механизм сцепления микрочастиц в металло-керамике совершенно иной, чем в сплавах. Если в сплавах наблюдается однородность материала, то в металлокерамике к этому необходимо стремиться. Мелкая дисперсия частиц, однородность структуры и пропорции компонентов способны обеспечить инструменту необходимую износостойкость и твердость. Основным компонентом для производства сверл и фрез является карбид вольфрама, в роли связующего вещества выступает кобальт и около 1% составляют фирменные присадки, придающие инструменту необходимые свойства (по источникам фирмы Hawera). В других случаях в качестве связки также участвует кобальт с процентным содержанием 6 % и 1%

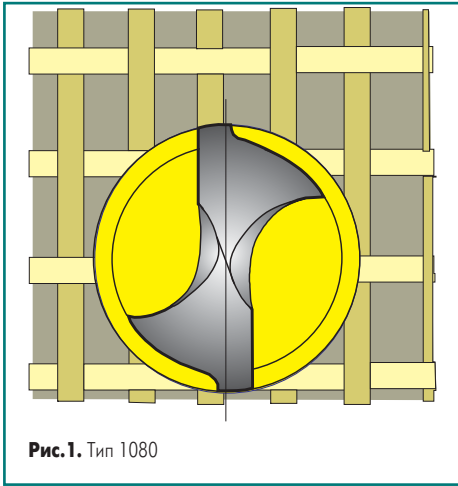


Рис. 1. Тип 1080

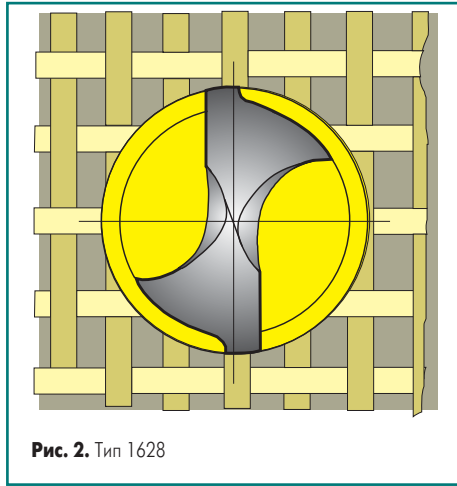


Рис. 2. Тип 1628

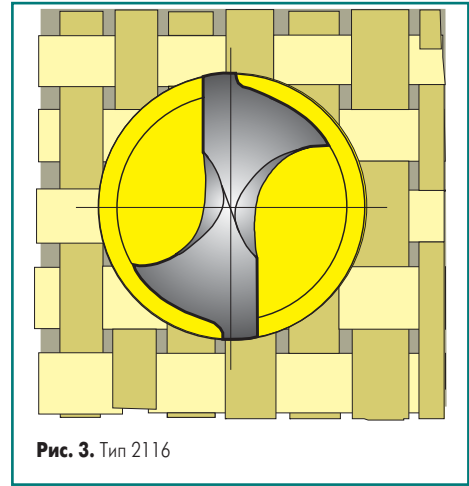


Рис. 3. Тип 2116

это фирменные добавки, включая молибден. Существуют и металлокерамические соединения с содержанием карбидов вольфрама и молибдена. Так, например, молибден придаст инструменту упругую гибкость, так необходимую при сверлении на полную глубину режущей части сверла. Это обстоятельство также позволит использовать сверла на оборудовании с низкими техническими характеристиками (биение цанги, шпинделя, относительно длительное время переходных процессов позиционирования стола). Но не все так просто: улучшая один параметр, мы изменяем износостойкость и наоборот. Такие присадки, как тантал и титан, позволяют материалу работать в самых тяжелых условиях резания — постоянные и переменные ударные нагрузки, повышенная температура взаимодействия между трущимися поверхностями. Пропорции компонентов, величина микрочастиц и технология изготовления держится в секрете и является определенным предметом гордости изготовителя.

В процессе обработки ПП из стеклотекстолитов инструмент проходит сквозь разнородную структуру: металл, связующее, наполнитель-стеклоткань. Самую большую опасность представляет именно наполнитель, а точнее оксид кремния, входящий в состав стеклянной сетки (корунд). Совершенно разные нагрузки испытывает сверло при обработке материалов с формулой «40% наполнителя — 60% связующего» и наоборот, 60% — 40%. Из логики вещей ясно, что силы резания и трения, возникающие при прохождении сверла узлов сетки и ячейки, будут отличаться друг от друга. Технологи, отвечающему за операцию сверления, необходимо помнить, что стеклотекстолиты разнятся между собой по конструкции в зависимости от толщины ламината. В толстых материалах применяется более плотная фактура стеклоткани, а в тонких диэлектриках ячейки стеклоткани имеют увеличенный размер и более тонкую основу стекловолокон. На рис. 1–3 схематично изображены разные типы стеклотканей в базовом материале. Из справочной литературы на ламинаты известно, что плотность нитей, образующих основу и уток, составляет 100–140 единиц на участке 100 мм для FR-4 и 160–200 единиц для отечественных материалов. Этой информации вполне достаточно, чтобы оценить условия

работы сверла в любом произвольном случае. На рис. 1–3 хорошо заметна соизмеримость одного и того же диаметра сверла со стеклянной сеткой для разной толщины базового материала. Процесс изнашивания инструмента в момент работы происходит тем быстрее, чем больше абразивных частиц встречается на его пути, сюда добавьте соизмеримость размеров стекловолокон и нитей из них и диаметра сверла, а точнее — его режущих кромок, и вы сами ответите на вопрос о периодичности смены инструмента в зависимости от толщины основы ПП. Поэтому, сравнивая инструмент от разных производителей по стойкости, необходимо делать это в пределах одной классификации или подгруппы.

Хотелось бы особенно отметить тот факт, что многие технологи по механообработке ставят перед собой цель получить отверстие, как конечный результат, и это в корне неправильно. Результат операции сверления взаимосвязан с последующими операциями, направленными на металлизацию диэлектрика. Например, для обработки отверстий МПП в плазмохимической установке оптимальным является шероховатость стенок отверстий в пределах Rz20–Rz30 и заусенцев не более 10 мкм, для оптимальной обработки в перманганатной подготовке необходимо иметь немодифицированную форму связующего, так как это позволит минимизировать воздействие химических растворов на диэлектрик. Модификация полимера происходит в момент трения, и хоть это носит кратковременный характер, но оставляет отпечаток на внутренних контактных площадках и стенках отверстий (наволакивание на торцы контактных площадок, подгар и остекляние приповерхностного слоя связующего), и, как следствие, недостаточная адгезия и локальное непокрытие диэлектрика.

От режимов резания зависит производительность, стойкость инструмента и качество отверстий. В процессе механической обработки отверстий в МПП необходимо получить такую поверхность, состояние, структура и шероховатость которой соответствовали бы наибольшей адгезии меди к диэлектрическому основанию платы. При этом необходимо обеспечить надежную электрическую связь металлизированного пистона со всеми

контактными площадками внутренних слоев печатной платы. Попробуем разобраться, как связана геометрия режущего инструмента и режимов резания с качеством обработки. Известно, что теплостойкость стеклотекстолитов ограничивает скорости резания при различных видах их механической обработки, так как может развиваться температура, значительно превышающая теплостойкость материала. Кроме того, низкая теплопроводность ламинатов при воздействии температуры способствует длительной локализации тепла в узкой зоне нагрева, что в свою очередь может вызвать частичное испарение, обугливание и оплавление связующего с низкой термостойкостью (к вопросу о повышенных скоростях резания, указываемых в буклетах, и о выборе базового материала).

Отечественными учеными были проведены многочисленные эксперименты, направленные на поиск оптимальных режимов обработки. В результате такого поиска была установлена зависимость температуры в зоне обработки от скорости резания, подачи, скорости вращения шпинделя, и выражается она следующей формулой:

$$\Theta = C_{\theta} V^x S^y d^z \quad (1)$$

где C_{θ} — коэффициент, характеризующий влияние материала сверла, геометрии режущих частей на температуру в зоне резания; x, y, z — показатели степени, характеризующие влияние скорости резания, подачи и диаметра сверла на значение температуры в зоне обработки; V — скорость резания (м/мин), S — подача (мм/оборот), d — диаметр сверла (мм).

После математической обработки результатов экспериментов были уточнены коэффициенты в формуле (1), и она приняла следующий вид:

$$\Theta = 71,9 V^{0,32} S^{0,19} d^{0,16} \quad (2)$$

Из полученного результата видно, что с возрастанием скорости резания значение Θ увеличивается. Причем увеличение температуры отстает от роста скорости обработки. Различное влияние подачи и диаметра сверла на температуру можно объяснить следующими причинами. С увеличением подачи при-

ток тепла в сверле за счет стружкообразования возрастает, в то время как температура режущей кромки остается постоянной. Низкая теплопроводность материала ПП и инструмента при этом будет, очевидно, способствовать более значительному повышению Θ на контактирующих трущихся поверхностях. Для определения наибольшей температуры в зоне резания необходимо учесть износ режущих кромок. Это имеет прямую зависимость от пройденной длины в материале и косвенную — от количества просверленных отверстий. Дополнительно было установлено, что приращение температуры от износа инструмента составляет 60 °С и может достигать 100 °С.

Так, например, с увеличением диаметра сверла пропорционально увеличивается длина режущих кромок инструмента, а следовательно, теплоотвод при постоянной скорости вращения и подаче с ростом глубины будет происходить в более благоприятных условиях, чем при возрастании подачи. Теперь предположим, что это МПП, а диаметры отверстий — от 0,8 до 0,4 мм, следовательно, длина режущих кромок уменьшается, и компенсировать отвод тепла можно за счет беспрепятственного отвода продуктов резания. По этой причине производители режущего инструмента стремятся к увеличению стружечного канала. Примером этого могут служить сверла фирмы Jinzhou и HAM (номера по каталогу 129 SV и HAM 380 SZ Prima соответственно).

Из изложенного материала понятно, что красочные рекламные буклеты предлагают использовать материалы, температурная прочность которых выше традиционного FR-4, например диэлектрики на основе BT-смола, SE-смола, полиимида или комбинированных материалов.

На рис. 4 показано уменьшение диаметра сверла при переходе от режущей части к телу инструмента. Такие сверла хорошо адаптированы к обработке МПП, где наволакивание смолы на торцы внутренних контактных площадок является частой причиной брака ПП. Из вышеизложенного ясно, что чем меньше усилие встречают продукты резания при удалении из зоны резания, тем выше качество обработки. Значит, не последнюю роль в этом играет и шероховатость поверхности стружечного канала (Rz). Особенно это становится актуальным при работе со сверлами из первых двух подгрупп.

Закупоривание стружечного канала приводит к резкому повышению сил скручивания сверла, а это, в свою очередь, ведет к ча-

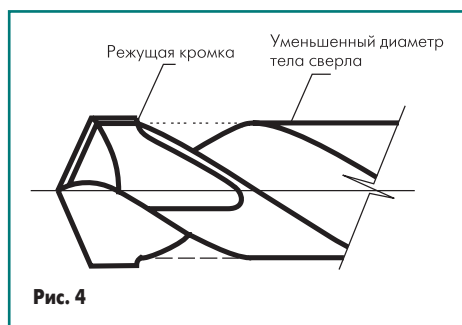


Рис. 4

стым поломкам инструмента. Для сверл из первых двух подгрупп изготовители стремятся создать микрозернистый материал, тем самым увеличить стойкость и прочность режущего инструмента. Лучшие образцы этих подгрупп имеют зернистость порядка 0,4 мкм и меньше. Уменьшение величины зерна в материале благоприятно сказывается на точности заправки, шероховатости инструмента и стойкости режущих кромок. Сверла, геометрия которых изображена на рис. 4, имеют один недостаток — ограниченную длину боковой режущей кромки. В силу названных причин такие сверла необходимо перетачивать с особой осторожностью, постепенно приближаясь к необходимому результату.

В других конструкциях сверл изготовители предлагают увеличение стружечного канала за счет уменьшения площади поперечного сечения сверла с одновременным упрочнением материала (сверла фирмы Jinzhou, серия 129 QV). Тем самым сохраняется возможность многократной переточки инструмента при сохранении перечисленных свойств (переточенными сверлами не рекомендуется выполнять обработку сложных МПП и МПП с малым числом слоев, а также при плохой подготовке отверстий перед металлизацией). При работе с таким инструментом необходимо помнить о корректности подачи, чтобы не превысить предел прочности уменьшенного сечения сверла. При выбранной скорости резания всегда имеется поле допустимых величин подачи, начиная от минимальных и заканчивая предельными значениями.

Для сверл, диаметры которых меньше 0,4 мм, не все изготовители делают четырехгранную заточку при вершине сверла. Хотя при таких размерах инструмента пересечение в пространстве двух граней дает линию, практически соизмеримую с точкой, все же для повышения точности центрирования сверла при вхождении в материал применяется дополнительная обработка (как на рис. 5).

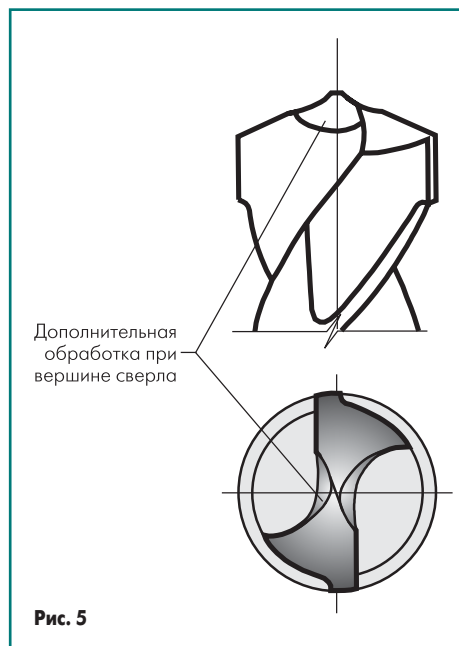


Рис. 5

Для создания микропереходов в материалах используют сверла с небольшой рабочей длиной, за счет чего повышается жесткость инструмента и, как следствие — точность обработки. В случае необходимости эти сверла хорошо работают и при сквозном сверлении, необходимо лишь следить за максимально допустимой глубиной погружения инструмента в диэлектрик. Эта величина должна быть всегда меньше длины рабочей части на два диаметра сверла.

Прецизионное сверление

С увеличением класса точности печатной платы возникает необходимость в сверлении с минимальным отклонением центра отверстия от координатной сетки, особенно это касается выхода сверла из заготовки (чем больше глубина обработки, тем больше увод). Из-за неоднородности структуры диэлектрика, возможных отклонений в изготовлении сверла и ряда других факторов происходит увод оси вращения инструмента от первоначального позиционирования. Для решения этой проблемы выпускаются специально разработанные сверла, в которых реализована идея точного врезания в обрабатываемый материал и повышенной жесткости — как за счет материала, так и конструкции. Такие сверла создают минимальные напряжения в местах, где производилась обработка. По данным фирмы HAM, добавление к четырехгранной заточке при вершине сверла (рис. 5), позволяет минимизировать увод инструмента в среднем до 12–15 мкм при полном погружении инструмента в материал. Для ознакомления с данными представителями «точного семейства» смотрите номера по каталогу: HAM 382 AS Micro-Prima, 129UCQT фирмы Jinzhou.

В условиях массового производства бытовой техники стали широко использоваться так называемые слотовые сверла. С помощью этого инструмента на станках с ЧПУ можно высверливать контур будущей небольшой платы, вырезать монтажные пазы или маркировать панели ПП. Они, как правило, выпускаются в небольшом интервале диаметров (от 0,5 до 2,0 мм) и имеют рабочую длину порядка 8 мм (в зависимости от диаметра инструмента). Конструкция таких сверл направлена на увеличение жесткости, так как следующее отверстие в прорезаемом пазе ложится на расстоянии меньшем, чем диаметр сверла. Для уменьшения радиальных нагрузок обеспечивают возможность резания боковой поверхностью инструмента.

Для сверл большого диаметра четырехгранная заточка при вершине сверла не применяется. Для уменьшения смещения центра отверстия от шага координатной сетки применяют дополнительную подрезку кромок у вершины сверла (рис. 6). В последнее время все больше стало встречаться станков с интерфейсом поломанного сверла. Из личного опыта замечу, что не все системы сверлильных станков способны корректно распознавать мо-

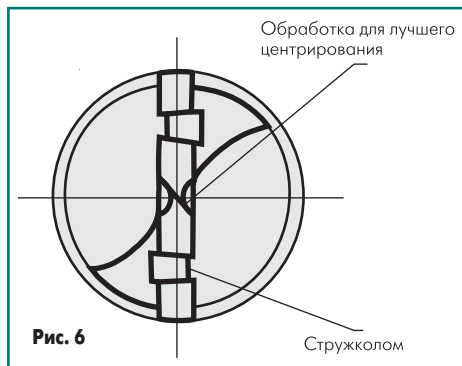


Рис. 6

мент полочки сверла. В старых моделях это связано, в основном, с навивкой на сверло стружки в виде тонкой ленточки. Такая проблема становится особенно актуальной при диаметре инструмента 3 мм и выше. Для борьбы с этим явлением изготовители стали применять специальную заточку сверла (рис. 6). Суть доработки заключается в том, чтобы резать стружку на более мелкие элементы, не доводя до сплошной ленточки.

Фрезерование

Наряду с обрубкой контура и скрайбированием этот вид обработки приобретает все большую популярность благодаря высокому уровню гибкости и автоматизации в получении управляющей программы. Для учета специфики обрабатываемого материала и различных видов работ существует большое разнообразие фрез: контурные и пазовые, фрезы для обработки гибких печатных плат, для работ по комбинированным материалам (большое отношение толщины меди к диэлектрику; комбинация алюминия, меди и диэлектрика), для работ с термопластами и мягкими материалами.

Классическим представителем контурных и пазовых фрез является инструмент с чередованием режущих зубьев, наподобие зерен кукурузы (фото 1). Но на этом сходство заканчивается, так как у «кукурузных» фрез имеются винтовые каналы для отвода



Фото 1

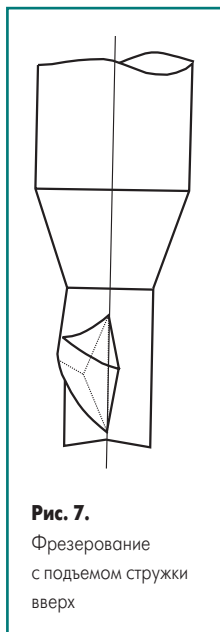


Рис. 7.

Фрезерование с подъемом стружки вверх

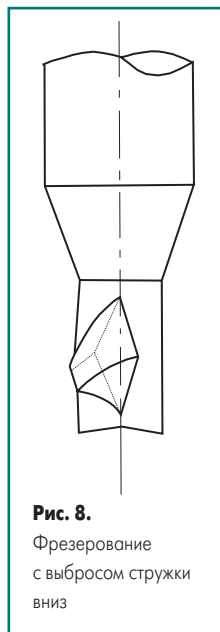


Рис. 8.

Фрезерование с выбросом стружки вниз

стружки. Чем больше величина зуба и круче поднимается стружечный канал, тем производительнее инструмент, но при этом возрастает шероховатость обработанной поверхности и, как следствие, падает точность.

Почти каждый производитель инструмента придерживается своей индивидуальной заточки фрез и формирует разные передние углы режущих зубьев. С помощью таких фрез можно получить отличный результат обработки при работе с реактопластами и стеклотекстолитами при соблюдении некоторых правил. Обратите внимание на вершину инструмента (фото 1): на конце фрезы имеются два зуба, которые обеспечивают врезание по вертикали. Если учесть, что скорость вращения шпинделя для фрезерования рассчитывается так же, как для сверления, то подачу по вертикальной оси необходимо тщательно подбирать. Это связано с тем, что производительность вершины фрезы превышает производительность ее боковой поверхности. Если пренебречь этим, на боковой режущей части фрезы на расстоянии 1,5–2 мм от вершины быстро появится подгар и прилипшие продукты резания, которые не успевают освобождать сружковыводящие каналы. В результате преждевременное старение инструмента — как за счет возросшей температуры в зоне резания, так и от выключения из работы некоторого количества зубьев. Чтобы продлить срок службы фрез, необходимо оптимизировать подачу по оси Z. Второй способ — это заранее предусмотренные отверстия в точках начала фрезерования для погружения инструмента в материал. Отверстие выбирают, как правило, несколько меньшее, чем диаметр фрезы. Тому, кто составляет управляющую программу по первой плате или по чертежу, необходимо помнить и о смещении на коррекцию радиуса инструмента. У «кукурузных» фрез имеется ряд особенностей, использование которых может значительно облегчить обработку контура — отвод продуктов резания вниз или вверх при правом вращении шпинделя. Конструктивно это выглядит так, как показа-

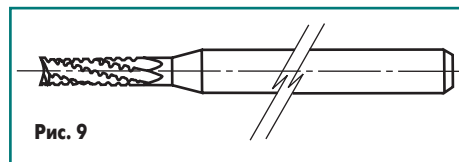


Рис. 9

но на рис. 7 и 8. На практике большой интерес представляют те фрезы, которые при вращении не поднимают обрабатываемый материал, а наоборот, прижимают к столу станка, способствуя тем самым повышению точности обработки.

В тех случаях, когда требуется выдерживать более точные размеры изделия или иметь меньшую шероховатость поверхностей после обработки, необходимо применять другой тип фрез (рис. 9). Такие фрезы имеют отличную производительность и позволяют работать в широких пределах подач. У каждого производителя фрез индивидуальная геометрия инструмента. Но главными отличиями между ними является угол подъема боковой режущей кромки, величина зубьев и их количество (эти параметры взаимосвязаны и влияют на производительность и чистоту реза). Такие фрезы, как HAM 448R Multi, Kemmer Präzision CMF или Jinzhou 151R, способны обеспечить отличную точность обработки — как стеклотекстолитов, полиимидов, материалов с фенолосодержащими смолами, так и комбинированных материалов.

Для фрезерования гибких печатных плат и тех материалов, которые в момент резания начинают «плыть», существуют двухзубые фрезы с различной формой вершины — «рыбий хвост» или «сверло» (рис. 10, фото 2). Такие фрезы справятся с печатными платами, в которые впрессован алюминиевый ра-

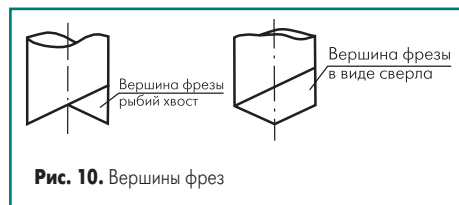


Рис. 10. Вершины фрез

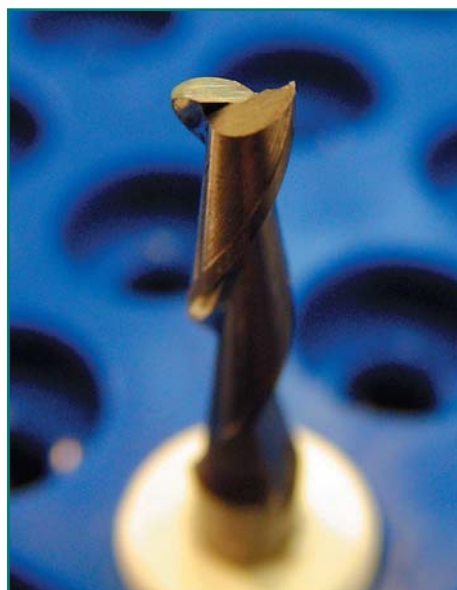


Фото 2

диатор. Большой стружечный канал и достаточная жесткость обеспечивают данным представителям возможность работать как в объеме, так и в плоскости. Хотелось бы отметить, что не все производители данных типов фрез выделяют инструмент с повышенной точностью фрезерования. Для обработки органического стекла, СВЧ-материалов (ФЛАН, ФАФ) и др. фрезы Jinzhou 162R смогут справиться с поставленной задачей перед механообработкой.

В тех случаях, когда материал диэлектрика мягкий или имеет низкий порог теплоустойчивости (лавсан, тефлон и т. д.) предназначены фрезы с одним зубом, которые также снабжаются вершиной в виде «рыбьего хвоста» или «сверла».

Завершая обзор фрез, хотелось бы упомянуть особые виды инструмента, предназначенные для выполнения специфических операций. Это инструмент для скрайбирования, подрезки кромок на заданный угол и получения канавок под элементы поверхностного монтажа.

Таким образом, покупка режущего инструмента должна носить целенаправленный характер и должна быть ориентирована

на выполнение поставленных задач (изготовление МПП, ДПП, ЖГПП, создание микропереходов и т. д.). Затем проверяют пригодность выбранных образцов для обработки базовых материалов и только после этого выбирают фирму-поставщика режущего инструмента. Одним из определяющих признаков солидности фирмы продавца является наличие профессиональной поддержки. Добавьте сюда соотношение «цена — качество», и вы получите искомый результат.

Все фотографии сделаны с образцов фирмы Bungard (Германия).

Литература

1. Исследование влияние процесса сверления на прочность сцепления металлизированного пистона и контактной площадки с диэлектрическим основанием /М. Махмудов, Л. И. Жак, С. И. Моисеев, В. И. Гайдар// Вопросы микроэлектроники — 1968, вып. 3.
2. Буланова М. В., Подураев В. Н. Исследование температуры резания при точении органоластиков // Труды МВТУ им. Баумана. М.; 1979, №5. С. 18–22.
3. Ю. Е. Усов, О. Г. Цыплаков, Г. А. Веденин. Влияние технологического состояния стеклопластика на силы резания при точении// Стеклопластики. Смоленск, 1976. С. 114–120.
4. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс. М.: Машиностроение. 1987.
5. Махмудов М. Специальные твердосплавные сверла//Научно-технический реферативный сборник «Металлорежущий контрольно-измерительный инструмент» — 1974, вып. 12.
6. Опыт внедрения плазмохимической очистки отверстий МПП/С. А. Шапиро, А. П. Ратников, Т. С. Шушианова, Л. Б. Пилавова// Внедрение новых высокоэффективных технологических процессов и экономии материалов в производстве печатных плат — Л.: ЛДНТП, 1983.
7. Техническая информация фирмы НАМ.
8. Техническая информация фирмы Jinzhou.
9. Техническая информация фирмы Kemmer Präzision.
10. Техническая информация фирмы Hawera.
11. Техническая информация фирмы Xian Weihe Precision Tool.
12. Техническая информация фирмы Inkok.
13. Техническая информация фирмы Astra.