

**Алексей Чабанов**  
micro@ostec-group.ru

## Режем вместе

### ВСТУПЛЕНИЕ

Не секрет, что микросборочные процессы, включая операции дисковой резки, будь то резка пластин со сформированной топологией на отдельные кристаллы, либо разделение групповых заготовок, имеют в большинстве случаев критическое влияние на функциональные характеристики компонента, на его массогабаритные параметры и на количество выхода годных изделий после сборочных операций.

Недостаточно отлаженный технологический процесс дисковой резки компонентов может повлечь за собой большое количество привносимых на данной стадии дефектов, а именно – сколов на кристаллах, превышающих технологические допуски, растрескивание пластин и подложек при резке, возникновение заусенцев при резке металлизированных подложек и выводов, замыкание рядом расположенных выводов, возникающее в результате их расплавления и многое другое, что в итоге приводит к отбраковке компонентов.

Как избежать данных проблем и получить качественный рез с дефектами в допустимых диапазонах? Это комплексная задача, требующая, наравне с подбором соответствующего оборудования для дисковой резки и режимов резания, ещё и правильного подбора соответствующих поставленным задачам дисковых лезвий.

В предыдущем номере журнала "Степень интеграции" (№ 3) мы уже рассматривали инновационную двухшпиндельную систему дисковой резки 7900 Duo израильской компании Advanced Dicing Technologies Ltd. (ADT) и приводили краткий обзор существующих дисковых лезвий данной компании. Остановимся на данной теме более подробно.

### КОМПАНИЯ ADVANCED DICING TECHNOLOGIES LTD.

ADT обладает более чем 30-летним опытом и отлично зарекомендовала себя в мире как производитель и разработчик технологий и оборудования для прецизионной дисковой резки и скрайбирования полупроводниковых пластин и подложек, разделения групповых заготовок, резки керамических подложек и широкого ряда других приложений. Среди клиентов компании числятся такие гиганты как Sony, Freescale Semiconductors, Olympus, Philips, Honeywell, DuPont, IBM и многие другие.

Помимо разработки и производства широкой номенклатуры систем дисковой резки с различной степенью автоматизации, полного спектра периферийного оборудования, включая системы монтажа пластин и подложек на пленку носитель, систем отмывки компонентов после операций резки, систем снижения адгезии компонентов к пленке носителю (в основном необходима при работе с тонкими кристаллами из хрупких материалов, таких как арсенид галлия, сапфир), систем водоподготовки для установок резки, ADT вкладывает много усилий и ресурсов в разработку и производство сопутствующих расходных материалов, а именно – режущих дисков.

Компания ADT обладает собственными производственными и лабораторными мощностями (рис. 1), в которых постоянно проводятся исследовательские работы, направленные на разработку новых и совершенствование существующих видов дисковых лезвий. Производственные цеха оснащены передовым оборудованием и, что удивительно, при высокой загруженности производственных мощностей проводится контроль каждого этапа

производственного процесса и качества каждого (!) из выпускаемых дисков – 100% выпускаемых дисков проходят стадии визуального контроля, проверки всех геометрических параметров и электрической проводимости.

### ТИПЫ ДИСКОВЫХ ЛЕЗВИЙ

Производимые в ADT дисковые лезвия можно разделить на четыре группы по типу используемой связки.

#### 1. Диски на никелевой (nickel-bond) связке

Данные диски обладают самым низким износом, следовательно, наибольшим возможным временем эксплуатации и при подборе правильного размера алмазной крошки являются идеальным выбором для резки мягких материалов, таких как печатные платы, кремний и BGA-компоненты. Толщина таких дисков варьируется от 20 до 500 микрон в зависимости от требований и диаметра алмазной крошки. Размер самой алмазной крошки находится в диапазоне от 2-4 до 70 микрон.

#### 2. Диски на полимерной (resin-bond) связке

Использование различных типов полимерных матриц в качестве связки позволяет применять такие диски для резки твердых и хрупких материалов, например, стекла, толстых керамических подложек, HTCC-керамики, QFN/MLF-корпусов, получая минимальные сколы по краям реза. Толщина дисков на полимерной связке варьируется от 75 до 2500 мкм, а размер алмазной крошки – от 3 до 250 мкм.

#### 3. Диски на металлической (metal-bond или sintered) связке

При более высокой, чем диски с полимерной матрицей, но более низкой, чем у дисков на никелевой связке, износостойкости диски на металлической связке наилучшим образом подходят для разделения групповых заготовок BGA, работы с мягкой алюмокерамикой, TiC, LTCC- и HTCC-керамикой. Типовой диапазон толщин для данных дисков находится в пределах от 100 до 1500 мкм в зависимости от размеров абразивной крошки, а диаметр алмазной крошки находится в пределах от 2 до 70 микрон.

#### 4. Диски на никелевой связке со стальным сердечником

Режущая кромка данного диска состоит из никелевой связки и абразивной алмазной крошки, весь остальной диск изготов-

лен из нержавеющей стали. Возросшая в результате такой конструкции жесткость диска позволяет устанавливать больший вылет лезвия, что дает возможность производить резку толстых подложек.

Наиболее часто такие диски используются для резки листов сырой керамики и разделения BGA-компонентов. Толщина дисков обычно варьируется в диапазоне от 200 до 750 мкм в зависимости от размера абразивной алмазной крошки (размер которой колеблется от 10 до 70 мкм).

Таким образом, правильный выбор связки диска под соответствующую задачу очень важен для качества реза и срока эксплуатации режущего диска (рис. 2).

### ПАРАМЕТРЫ ДИСКОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО РЕЗА

Для подбора режущего диска, удовлетворяющего современным высочайшим требованиям, предъявляемым к качеству резки компонентов, мало подобрать правильную связку, необходимо также большое внимание уделять прочим многочисленным параметрам, которые лишь в совокупности дадут ожидаемый высокий результат. К таким параметрам относят упомянутые выше типы связок дисков и их твердость, габаритные размеры диска, его внутренний и внешний диаметры, толщину, вид кромки лезвия, тип и размер абразивной крошки, её концентрацию.

Кратко рассмотрим каждый из перечисленных параметров.

#### Габаритные размеры лезвия

- Внешний диаметр

Большой внешний диаметр обеспечивает лезвию увеличенный, по сравнению с меньшим диаметром, срок эксплуатации, получающийся в результате менее интенсивного износа лезвия. К минусам использования лезвий с большим внешним диаметром можно отнести повышенные вибрации, которые негативно сказываются на качестве реза.

- Вылет лезвия

Максимальный вылет лезвия для дисков на никелевой связке можно приблизительно считать равным толщине диска, умноженной на 30, т.е.  $E = T \times 30$ , где  $E$  – вылет,  $T$  – толщина лезвия (рис. 3). Максимальный вылет лезвия для дисков на металлической связке составляет  $E = T \times 20$ , а для дисков на полимерной связке он равен  $E = T \times 10$ . Превышение этих значений негативно сказывается на качестве реза, по-



Рис. 1 Исследовательская лаборатория ADT, г.Ионнеам, Израиль

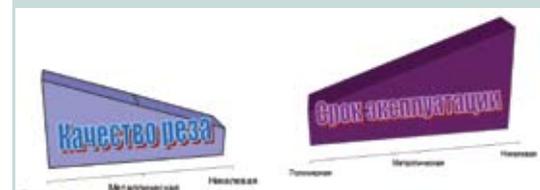


Рис. 2 Общая зависимость качества реза и срока эксплуатации диска от материала связки

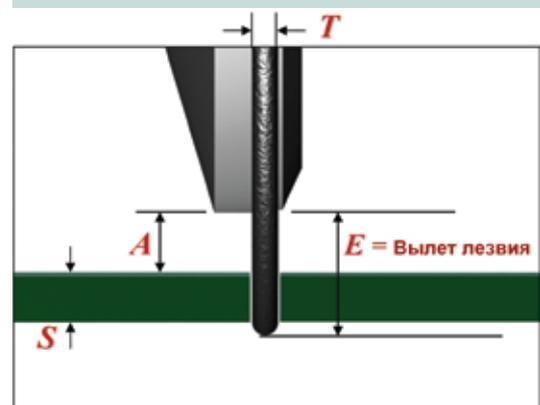


Рис. 3 Определение величины вылета лезвия



Рис. 4 Фрагментированное лезвие и нагрузка на него

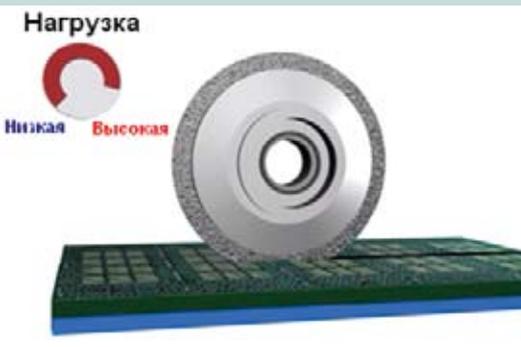
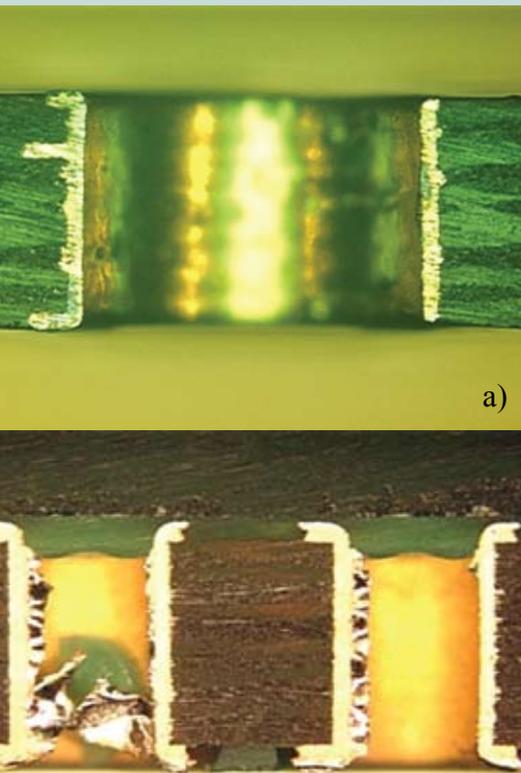


Рис. 5 Стандартное лезвие и нагрузка на него

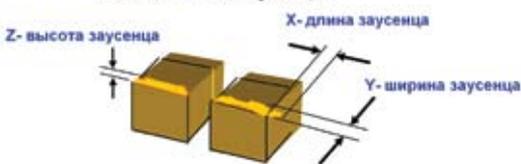


а)

б)

Рис. 6 Разрез платы светодиодного корпуса по переходным отверстиям: а – хороший результат, б – заусенцы

### Возникновение заусенцев



### «Смазывание» выводов



Рис. 7 «Смазывание» материала металлических выводов при резке и возникновение заусенцев

нижает жесткость режущей части лезвия, в результате чего рез может получаться волнистым.

Минимальный вылет лезвия можно рассчитать по формуле  $E = A + S + T/2$ , где  $A = \text{Min}$ . 300мкм,  $T$  – толщина лезвия, а  $S$  – толщина обрабатываемой подложки.

- Толщина лезвия

Тонкое лезвие позволяет добиться меньшей ширины реза, обладает меньшим радиусом режущей кромки и позволяет более полно использовать поверхность подложки пластины, закладывая на зоны реза меньшие площади.

Толстое лезвие обычно имеет более длительный срок эксплуатации по сравнению с тонким лезвием с аналогичными параметрами, такие лезвия рассчитаны на работу с толстыми подложками и заготовками и обеспечивают лучшую перпендикулярность реза к поверхности обрабатываемого образца.

- Геометрия режущей кромки

В процессе резки на фрагментированное лезвие (рис. 4) оказывается нагрузка значительно ниже, чем на сплошной диск.

Стандартное же лезвие (рис. 5) нагружено в процессе резания больше.

Исходя из этого, к плюсам фрагментированных дисков можно отнести лучшее охлаждение лезвия, меньшую нагрузку на лезвие и, как результат, меньшее количество заусенцев (например, при разделении групповых заготовок светодиодных корпусов по переходным отверстиям (рис. 6)), меньшее «смазывание» металлических выводов в зоне реза, например, при резке QFN-корпусов (рис. 7) и более длительный срок службы. К минусам таких дисков, можно отнести повышенные вибрации, возросшую ширину реза, большее количество и размер возникающих сколов.

Так, например, для резки светодиодных корпусов, основанием которых служат печатные платы с металлизированными переходными отверстиями, рекомендуется использование фрагментированных режущих дисков на никелевой связке. Размер алмазной крошки таких дисков должен составлять 10-17 микрон, толщина лезвия от 75 до 200 мкм, а скорости резания от 50 до 150 мм/сек. Для лезвия диаметром 55 мм рекомендуемая скорость вращения шпинделя составляет 25-30 тысяч оборотов в минуту, а для лезвий с внешним диаметром около 100 мм - 12-20 тысяч оборотов.

Так, при резке различных типов QFN-корпусов, основными проблемами являются локальные расплавления выводов, их замыкание между собой, а также возникновение заусенцев (рис. 7). Предъявляемые же рынком требования достаточно высоки:

- величина заусенцев по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  не должна превышать 50 мкм;
- величина «смазывания» вывода не должна превышать 25% от расстояния между соседними выводами;
- вывод не должен плавиться;
- не должно происходить отслоение вывода от материала корпуса;
- размеры готового корпуса должны находиться в пределах  $\pm 50$ мкм от номинального значения;
- сколы не должны превышать 50 мкм.

Для решения таких задач рекомендуются диски с внешним диаметром от 50 до 100 мм на основе полимерных связок с крупным размером абразивной алмазной крошки 45-105 мкм, при этом толщины лезвий варьируются от 200 до 500 мкм, скорость резания составляет от 10 до 100 мм/сек в зависимости от типа корпуса и размера выводов, скорость вращения шпинделя 25-30 тысяч оборотов в минуту для лезвий диаметром около 50 мм и 15-25 тысяч оборотов для лезвий с внешним диаметром около 75 мм.

## АБРАЗИВНАЯ КРОШКА

Выбор правильного размера абразивной крошки, так же как и вышеперечисленные параметры, критично влияет на качество реза, скорость резания, обороты шпинделя, длительность эксплуатации лезвия. В целом, мелкая абразивная крошка обеспечивает более гладкий рез с меньшими сколами, при этом мелкие абразивные частички активнее удаляются из связки, обнажая новые, пока не изношенные слои абразива, помогая сохранять ожидаемое от диска качество реза. Способность диска «терять» абразивную крошку напрямую зависит от твердости связки диска и не может рассматриваться отдельно от этого параметра. С другой стороны, при использовании мелкого абразива на диск действуют большие нагрузки. Также мелкая абразивная крошка удаляет меньше материала из зоны реза, что может вызвать необходимость использования более высоких оборотов шпинделя и низких скоростей резания.

Крупные абразивные частички напротив покидают связку режущего диска и обеспечивают лезвию более долгий срок службы, но, к сожалению, отрицательно влияют на качество реза – рез получается грубее, с большим количеством и размером сколов (рис. 8). Однако при правильном использовании такие диски способны удалять больше материала из зоны реза, работать на более высоких скоростях резания и при этом обладают длительным сроком службы. Такие диски считаются более жесткими по сравнению с аналогичными, но с меньшим размером зерен абразива, и меньше подвержены влиянию вибраций.

Ещё один важный параметр – концентрация абразива, которая влияет на качество реза, скорость резания, срок службы дискового лезвия. Как уже отмечалось выше, ни один из этих параметров не может рассматриваться отдельно от остальных. Вопрос подбора соответствующей концентрации абразивной крошки остро встает в случаях, когда нагрузку на диск необходимо снижать, а требования к качеству реза не допускают использования дисков с более крупным размером абразивного зерна. Низкие концентрации приводят к уменьшению нагрузки на диск, т.к. частицы абразива находятся на значительном расстоянии друг от друга, что ведет к улучшению качества реза в наиболее ответственных приложениях. Отрицательной стороной низкой концентрации является то, что каждое зерно абразива должно удалять больше материала из зоны реза. Это сокращает срок службы диска и заставляет работать с меньшей скоростью подачи шпинделя.

**СВЯЗКА**

Твердость связки напрямую влияет на способность абразивной крошки покидать матрицу диска, обнажая новые абразивные зерна. Чем мягче материал связки, тем активнее это происходит, но тем меньшим сроком службы обладает диск, в отличие от дисков с более твердой связкой, каждое абразивное зерно в которых дольше находится в связке. Срок эксплуатации лезвия может быть повышен при использовании низких скоростей подачи, к тому же нагрузка на диск с мягкой связкой меньше, а качество реза выше. У дисков же с твердой связкой более долгий срок службы, но нагрузка на

диск и шпиндель системы резки выше. При использовании таких дисков чаще возникают сколы с обратной стороны обрабатываемого материала.

Таким образом, мягче связка – выше износ лезвия, меньше нагрузка на диск, лучше качество реза. Тверже – наоборот.

Механизм износа лезвия с мягкой связкой показан на рис. 9.

Однако, как и для любого правила, у общей зависимости износа диска от твердости связки имеются исключения. Так, например, интересный феномен был обнаружен в процессе крупносерийного производства BGA-корпусов.

При разделении BGA-компонентов дисками с никелевой связкой высокая твердость данной связки приводит к минимальному радиальному износу лезвия, но при этом повышенному износу подвергаются его боковые кромки, уменьшая его толщину в режущей части. Этот боковой износ начинает оказывать существенное влияние на размеры компонента после резки уже через сравнительно короткое время использования диска (рис. 10 и 11). Получается, что диски, обладающие за счет твердой связки, казалось бы, более длительным сроком службы, в данном приложении должны заменяться чаще, чем диски с мягкой связкой и более высоким радиальным износом (рис. 11), которые при этом дольше сохраняют свою толщину и радиусы боковых скруглений в режущей части. Для такой задачи оптимальным решением является использование дисков с более мягкой, чем никелевая, но более твердой, чем полимерная, металлической связкой. При этом размер абразивного зерна варьируется от 30 до 50 мкм, а толщина лезвия начинается от 75 мм/сек и может достигать значений в 250 мм/сек. И наиболее часто используемая скорость вращения шпинделя 30-45 тысяч оборотов в минуту для лезвий диаметром около 50 мм и 20-30 тысяч оборотов для лезвий с внешним диаметром около 75 мм.

Обобщая вышеизложенное, можно предложить краткие рекомендации по выбору дисковых лезвий под ту или иную задачу (таблица 1).

Подбор правильных дисков для решения той или иной задачи – ключ к успеху всего технологического процесса резки!

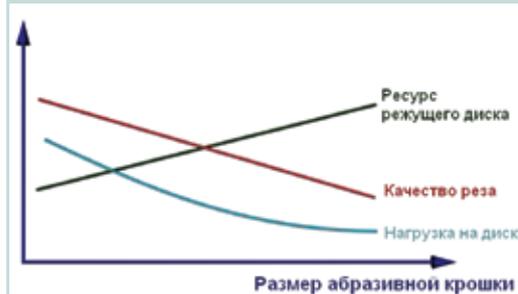


Рис. 8 Общая зависимость срока службы дискового лезвия, нагрузки на него и качества реза от размера абразивных частиц

**Равномерный износ**

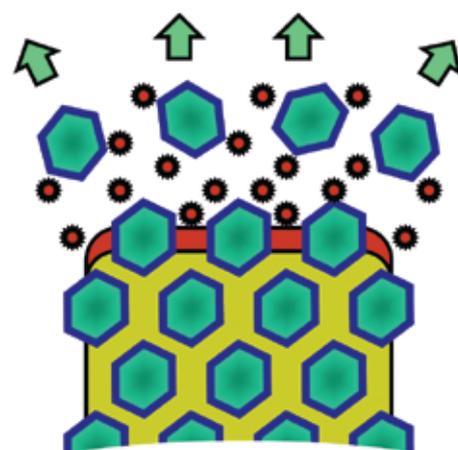


Рис. 9 Износ лезвия с мягким материалом связки

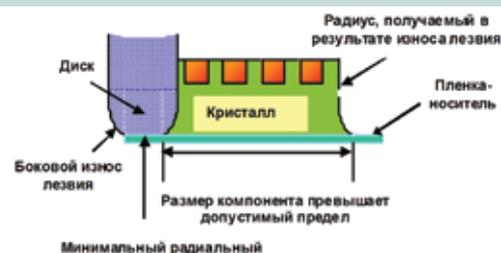


Рис. 10 Процесс разделения BGA-компонентов дисками на основе твердых связок

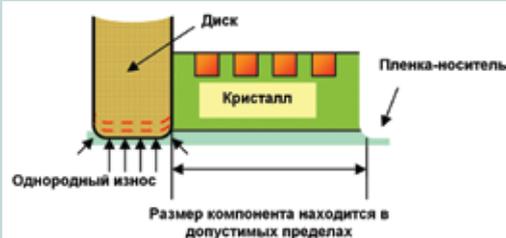


Рис. 11 Процесс разделения BGA-компонентов дисками на основе мягких связок

**Таблица 1** Виды режущих дисков для типовых применений

Тип лезвия	Размер абразивной алмазной крошки	Диапазон толщин лезвий, мм	Продукт	Материал
Диски на никелевой связке	30,50,70	20 - 500	PBGA	FR4, пластики и специальные полимеры
	10,13,17		Печатные платы	FR4 / Эпоксидные компаунды и медь
	3-6,4-8,10,17		Пишущие головки	Ферриты
	2-4,3-6,10,15		Магнитные головки	TiC
	2-4,4-8,10		Ультразвуковые сенсоры	Пьезоэлектрики
	1-3,2-4		Активные компоненты (дискретные)	GaAs
	4-8		ПАВ-фильтры	LiNbO <sub>3</sub> , LiTaO <sub>3</sub>
	2-4,4-8,10		Головки для принтеров	Пьезоэлектрики
	2-4,4-6,4-8		Интегральные схемы	Кремний
Диски на никелевой связке со стальным сердечником	30,50,70	200 - 750	MLCC-конденсаторы (многослойные конденсаторы)	"Сырая" керамика
	30,50		PBGA	FR4, пластики и специальные полимеры
Диски на полимерной связке	45,53,63	75 - 2500	CBGA	Алюмокерамика и компаунды
	45,53,63,88		Алюмо-керамические корпуса	Алюмокерамика
	45,53,63,75,88,105		QFN/MLP (на цельных и медных рамках с проточками)	Медь (с покрытием) и полимерные компаунды
	25,30,45,53		ПАВ-фильтры	Кварц
	9,15,20,30		ПАВ-фильтры	LiNbO <sub>3</sub> , LiTaO <sub>3</sub>
	9,15,20,30		Пишущие головки	Ферриты
	15,25,30,45,53		Головки для принтеров, оптоволоконные материалы	Стекло, кварц
	15,20,30,35		CCD-компоненты	Стекло
	20,25,30,35,40,45		ПАВ-фильтры, ВЧ-модули	HTCC-керамика
45,53,63	Светодиоды, опто- и электрооптические компоненты	Сапфир		
Диски на металлической связке	10,17,20	100 - 1500	Магнитные головки	TiC
	30,40,50		PBGA	FR4, пластики и специальные полимеры
	9,10,15		Оптоволоконные материалы	Стекло, кварц
	50,70		QFN/MLP (на медных рамках с проточками)	Медь (с покрытием) и полимерные компаунды
	20,25,30,35		Пассивные и активные компоненты. Модули связи	LTCC-керамика
	30,35,40,45		ПАВ-фильтры, ВЧ-модули	HTCC-керамика
	13,17,20,25		CCD-компоненты	Стекло
	20,30,40		Керамические корпуса	Алюмокерамика