

УДК 621

## ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОПЕРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСПИЛИВАНИЯ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОДАЧЕЙ

Киселев М.Г., Ямная Д.А.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

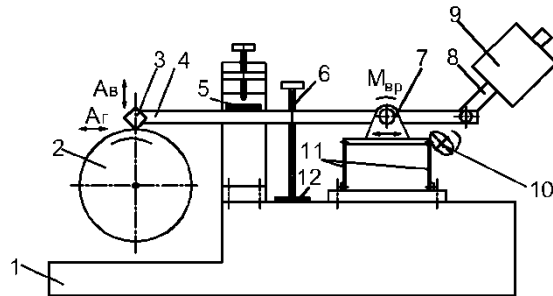
Механическое распиливание заготовок из хрупких неметаллических материалов, в частности полупроводников, стекла, керамики, естественных и искусственных кристаллов, поделочных и драгоценных камней широко используется в электронной промышленности, в технологии оптического и электронного приборостроения, а также в ювелирном производстве. Весьма специфическими технологическими особенностями характеризуется способ механического распиливания кристаллов алмаза при производстве из них бриллиантов и других изделий. Во-первых, это уникальная твердость обрабатываемого материала, а во-вторых, его очень высокая стоимость, что накладывает весьма жесткие требования по минимизации безвозвратных потерь этого сырья в процессе распиливания.

Авторами [1, 2] предложена технология распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением заготовки, позволяющая повысить производительность выполнения операции при снижении шероховатости поверхности площадок распиленных полуфабрикатов в сравнении с обработкой по традиционной технологии.

На основании анализа особенностей традиционной схемы распиливания кристаллов алмаза [3] (центр тяжести противовеса на стреле расположен выше оси ее качания) авторами обоснована возможность придания заготовке в плоскости распиливания двухмерного циркуляционного движения за счет сообщения узлу качания стрелы вынужденных колебаний, направленных вдоль горизонтальной оси. Исходя из этого, разработана колебательная система (рисунок 1), с использованием которой создана экспериментальная распиловочная секция.

В отличие от промышленной в ней узел качания стрелы жестко не связан с основанием, а установлен на упругом плоскопараллелограмном подвесе, верхней (подвижной) части которого от вращающегося эксцентрика сообщаются колебания в горизонтальном направлении  $A_{г}$ . За счет возникающих виброускорений на противовес действуют инерционные силы, которые создают переменный вращающий момент  $M_{вр}$ , вызывающий поворот стрелы относительно оси ее качания, что сопровождается перемещением закрепленной на ее конце заготовки в вертикальном направлении  $A_{в}$ . В результате сложения двух одномерных компланарных

колебаний заготовка совершает двухмерное периодическое циркуляционное движение.



1 – основание; 2 – распиловочный диск; 3 – заготовка; 4 – стрела; 5 – верхний упругий ограничитель; 6 – регулировочный винт; 7 – узел качания стрелы; 8 – поворотный рычаг; 9 – противовес; 10 – механический вибратор; 11 – плоские пружины; 12 – нижний упругий ограничитель

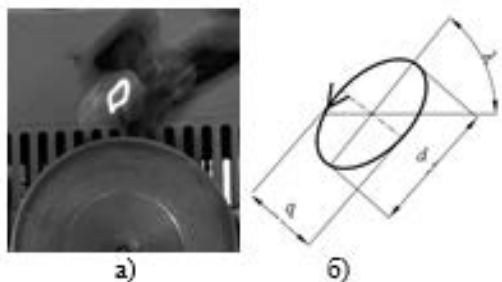
Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной распиловочной секции

Экспериментально определены исходные параметры и характеристики созданной распиловочной секции (собственная частота, предельная линейная деформация упругого подвеса), что позволило установить рациональные режимы возбуждения колебательной системы. Так, частота вынужденных колебаний не должна превышать 5 Гц, а их амплитуда должна быть не более 3,5 мм.

При работе колебательной системы только с одним нижним ограничителем устойчивое двухмерное циркуляционное движение заготовки обеспечивается в узком частотном диапазоне ее возбуждения  $f = 2,8 - 3,5$  Гц при статическом нагружении (усилии прижатия опорного винта к ограничителю)  $P_{ст.в} = 1,0 - 2,2$  Н.

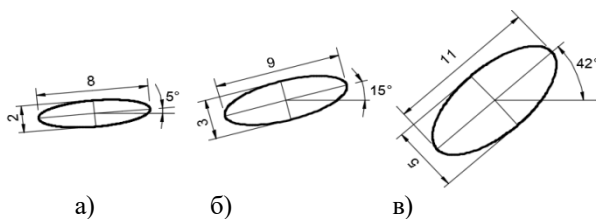
Стабильное и управляемое циркуляционное движение заготовки обеспечивается в случае использования двух ограничителей (верхнего и нижнего) и при реализации виброударного режима их взаимодействия со стрелой. В этих условиях траектория движения заготовки (рисунок 2а) имеет форму, близкую к эллипсу (рисунок 2б), что позволяет использовать для его характеристики следующие параметры: величину большой  $d$  и малой  $q$  осей эллипса, угол  $\lambda$  наклона его большой оси к горизонтали и период циркуляционного движения  $T_{ц}$ . При этом за счет изменения режимов возбуждения колебательной системы (частоты  $f$ , величины зазора  $Z$  между стрелой и верхним

ограничителем и статического усилия  $P_{ст}$  прижатия заготовки к диску) можно целенаправленно влиять на параметры эллиптической траектории движения заготовки (рисунок 3).



а – траектория движения; б – параметры эллиптической траектории движения

Рисунок 2 – Траектория движения светящейся точки, принадлежащей заготовке, при возбуждении колебательной системы с двумя ограничителями



а –  $f = 1,7$  Гц; б –  $2,8$  Гц; в –  $3,6$  Гц

Рисунок 3 – Влияние частоты  $f$  возбуждения колебательной системы на параметры эллиптической траектории движения заготовки

В результате исследования режимов возбуждения колебательной системы на повышение производительности выполнения операции и качества поверхности площадок распиленных полуфабрикатов, с учетом простоты и удобства их регулирования на производственном участке, определены рациональные значения технологических параметров выполнения операции распиливания на модернизированной распиловочной секции станка ШП-2, учитывающие условия выполнения ее отдельных переходов и обеспечивающие по сравнению с обработкой в обычных условиях наибольшее повышение интенсивности распиливания хрупких неметаллических материалов (от 1,25 до 2,28 раза в зависимости от их твердости) и снижение шероховатости поверхности площадок распиленных полуфабрикатов в 1,10–2,43 раза. В частности, при постоянных значениях  $n_d = 7500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $Z = 2,5\text{--}3,0 \text{ мм}$ ,  $A = 3,5 \text{ мм}$  на переходе «врезание»  $f = 0$ ,  $P_{ст} = 0,6 \text{ Н}$ , на переходе «основное распиливание»  $f = 3,6 \text{ Гц}$ ,  $P_{ст} = 1,1 \text{ Н}$  и на переходе «окончание распиливания»  $f = 1,7 \text{ Гц}$ ,  $P_{ст} = 0,6 \text{ Н}$ .

Разработанная технология позволяет интенсифицировать процесс разрушения хрупких неметаллических материалов за счет реализации

виброударного режима взаимодействия заготовки с режущей поверхностью диска. Оправдано полагать, что виброударный режим распиливания будет оказывать влияние на уровень эксплуатационных показателей отрезного диска, в частности на величину его относительной или удельной износостойкости. Под последней будем понимать суммарную пропиленную площадь данного образца одним диском до момента, когда интенсивность распиливания им не снизится до двух раз от первоначальной.

Для изучения этого вопроса проведена отдельная серия экспериментов по следующей методике. Были использованы два одинаковых отрезных алмазных диска (АСН 60/40), которыми распиливались образцы из яшмы в одном случае в обычных условиях ( $P_{ст.в} = 6,5 \text{ Н}$ ), а в другом – с возбуждением колебательной системы ( $f = 4 \text{ Гц}$ ,  $Z = 3 \text{ мм}$  и  $P_{ст.в} = 6,5 \text{ Н}$ ). При этом в обоих случаях фиксировалось изменение интенсивности распиливания ( $i_0/i_k$ ) по мере увеличения количества обработанных образцов и определялась суммарная площадь распила ( $F$ ), полученная одним диском до момента, когда  $i_k = 0,5i_0$ .

Результатами исследований установлено, что при уменьшении интенсивности распиливания в два раза по сравнению с первоначальной суммарная площадь распиленной поверхности образцов при обработке в обычных условия  $F_t$  составила  $168,5 \text{ мм}^2$ , при обработке с возбуждением колебательной системы  $F_{ц} = 882,3 \text{ мм}^2$ . Из сравнения полученных данных следует, что сообщение образцу циркуляционного движения, обеспечивающего виброударный режим распиливания, повышает по сравнению с обработкой в обычных условиях относительную износостойкость отрезного диска более чем в пять раз. Это свидетельствует о том, что наличие циркуляционного движения заготовки создает благоприятные условия для работы алмазных зерен, закрепленных на поверхности диска, в результате чего они более длительное время сохраняют высокую режущую способность.

С помощью инфракрасного пирометра НИМБУС (диапазон измерений от 0 до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , цена деления  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) была измерена интегральная температура в зоне обработки при распиливании образцов из стекла, яшмы и корунда. По результатам проведенных экспериментов установлено, что сообщение образцу циркуляционного движения не оказывает по сравнению с распиливанием в обычных условиях существенного влияния на изменение температуры в зоне обработки, значение которой находилось в пределах  $24\text{--}32 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### Литература

1. Ямная, Д. А. Технология механического распиливания хрупких неметаллических материалов с циркуляционным движением

заготовки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Д. А. Ямная ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2016. – 23 с.

2. Установка для обработки кристалла алмаза : пат. ВУ 20660 / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, Д. А. Ямная. – Опубл. 12.2016.

3. Епифанов, В. И. Технология обработки алмазов в бриллианты : учебник / В. И. Епифанов, А. Я. Песина, Л. В. Зыков ; под ред. В. И. Епифанова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1982. – 351 с.

УДК 621.385.6

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Волкенштейн С.С.<sup>1</sup>, Солодуха В.А.<sup>2</sup>, Соловьев Я.А.<sup>2</sup>, Керенцев А.Ф.<sup>2</sup>, Хмыль А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Планар-СО»

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ»

<sup>3</sup>УО «БГУИР»

Минск, Республика Беларусь

Мощные ДМОП транзисторы в металлокерамическом корпусе типа КТ-97В, С работают в основном в режиме электронного ключа при максимальной токовой нагрузке порядка 30÷40 А. В процессе эксплуатации периодически происходит нагрев активной структуры транзистора, который будет тем выше, чем больше переходное тепловое сопротивление «р-п переход - корпус». Поэтому повышение устойчивости мощного транзистора к циклическому тепловому воздействию является актуальной задачей.

Конструкция корпуса КТ-97В содержит термокомпенсатор, который выполняет важнейшую функцию согласования коэффициентов термического линейного расширения (КТЛР) кремниевого кристалла и медного основания для снижения термических напряжений в кристалле мощного транзистора. В качестве термокомпенсатора используют молибденовые псевдосплавы, например, МД-40. Недостатком таких термокомпенсаторов является недостаточная теплопроводность, что способствует росту переходного теплового сопротивления. Теплопроводность можно повысить за счет увеличения содержания меди с 40% до 50% (МД-50). Однако это создает условия для роста КТЛР и может способствовать возникновению термических напряжений в кристаллах, монтаж которых выполняется на эвтектику Au-Si. В данной работе представлены результаты сборки и испытаний мощного транзистора в металлокерамическом корпусе КТ-97В с разным финишным покрытием (хим. НЗ и хим. НЗл4) с использованием термокомпенсаторов двух типов МД-40, МД-50.

Монтаж кристаллов ДМОП транзисторов КП7209 в корпус с золотым покрытием выполнялся на эвтектику Au-Si на автомате ЭМ-4085, а в корпус с никелевым покрытием – в конвейерной печи на припой ПОС-10 по касетной технологии сборки. После сборки по полному маршруту годные транзисторы подвергались длительным воздействиям термоударов при минус 196 °С (5 мин) и плюс 200 °С (10 мин) с

последующей оценкой уровня теплового сопротивления.

В процессе исследований было установлено, что использование термокомпенсатора МД-50 для приборов в корпусе с никелевым покрытием способствует получению теплового сопротивления в пределах 0,55÷0,72 °С/Вт, а для МД-40 уровень существенно выше и составляет 0,85÷0,96 °С/Вт. После термоударов отмечается рост теплового сопротивления с 0,55 до 0,65 °С/Вт для МД-50 с пайкой кристаллов на припой при температуре 390 °С (рисунок 1, а).

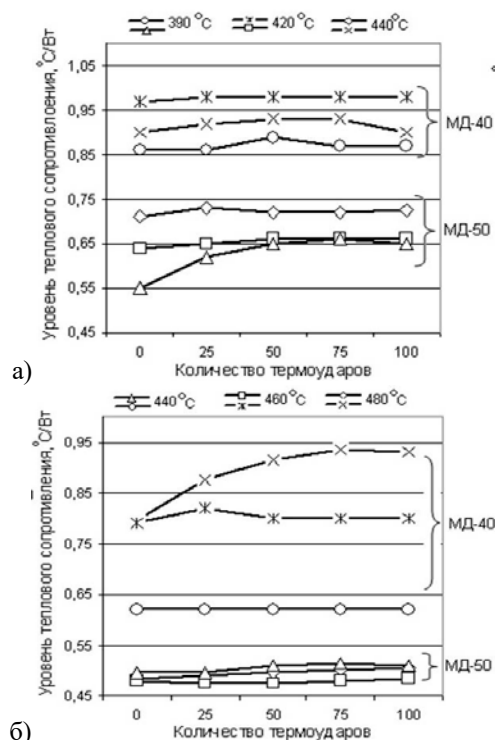


Рисунок 1 – Влияние термоударов на изменение теплового сопротивления транзистора с разным способом монтажа кристаллов: а – монтаж на припой; б – монтаж на эвтектику Au-Si