

УДК 621.937

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ШАРЖИРОВАНИЯ РАСПИЛОВОЧНЫХ ДИСКОВ С УЛЬТРАЗВУКОМ НА ИХ РЕЖУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

*д-р техн. наук, проф. М.Г. КИСЕЛЕВ, А.А. НОВИКОВ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния режимов шаржирования боковых поверхностей распиловочных дисков с ультразвуком и технологического маршрута выполнения операции шаржирования как на интенсивность операции распиливания, так и на ширину пропила образцов из синтетического корунда. Полученные результаты позволяют определить оптимальные режимы шаржирования боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков ультразвуком, при которых обеспечивается максимальная режущая способность полученных инструментов. Помимо режущей способности и качества поверхности распиленных полуфабрикатов важным эксплуатационным показателем инструмента является толщина режущей кромки, определяющая ширину пропила, а следовательно, значение безвозвратных потерь материала заготовки на операции ее распиливания.

Введение. В настоящее время твердые и сверхтвердые неметаллические материалы находят широкое применение в различных областях машино- и приборостроения. Для их обработки используется инструмент, на рабочих поверхностях которого создано алмазосодержащее покрытие. В частности, в ювелирном производстве для распиливания монокристаллов алмаза при переработке их в бриллианты используются тонкие распиловочные (отрезные) диски, изготовленные из оловянисто-фосфористой бронзы, на боковых поверхностях которых тем либо иным способом сформирован алмазосодержащий слой [1].

В процессе изготовления распиловочных дисков, необходимо комплексно обеспечить высокий уровень их эксплуатационных показателей, таких как: высокая режущая способность, оцениваемая объемом или весом материала, удаляемого в единицу времени; стойкость, характеризуемая количеством удаленного материала одним распиловочным диском; минимальная ширина пропила и высокое качество площадок распиленных полуфабрикатов. Оно определяется высотой микронеровностей обработанных поверхностей, а также наличием на них глубоких рисок, выведение которых осуществляется на последующей операции подшлифовки, что сопровождается возрастанием безвозвратных потерь дорогостоящего алмазного сырья.

Основным этапом в технологии изготовления распиловочных дисков, определяющим уровень их эксплуатационных показателей, является операция формирования на их боковых поверхностях алмазосодержащего слоя. Она может выполняться двумя методами: закреплением зерен алмазного микропорошка на поверхности диска путем гальванически осажденного металла (метод гальваностегии) и за счет их внедрения и закрепления в поверхностном слое заготовки в процессе шаржирования. Распиловочные диски, изготовленные методом гальваностегии, имеют более высокую режущую способность по сравнению с шаржированными, но уступают им по такому важнейшему для алмазообработки показателю, как выход годного. Именно это обстоятельство объясняет тот факт, что на сегодня для распиливания монокристаллов алмаза, как правило, применяются инструменты с алмазосодержащим слоем, полученным методом шаржирования.

В этой связи актуальной остается задача совершенствования технологии шаржирования боковых поверхностей распиловочных дисков с целью повышения его эксплуатационных показателей, и в первую очередь режущей способности. В значительной степени ее удалось решить путем выполнения операции шаржирования с применением энергии ультразвука на основе использования акустических колебательных систем разомкнутого типа со свободно установленными деформирующими инструментами [2]. При определенной интенсивности ультразвукового возбуждения в таких колебательных системах устанавливается виброударный режим взаимодействия деформирующих инструментов с обрабатываемой поверхностью диска, в результате чего внедрение и закрепление алмазных частиц в нее происходит за счет их виброударного втирания [2, 3]. Благодаря этому повышается степень насыщения поверхности диска алмазными частицами и прочность их закрепления в ней, т.е. качество шаржирования, что подтверждается данными исследовательских работ [4].

Вместе с тем в предшествующих исследованиях не нашли отражения вопросы определения рациональных режимов шаржирования распиловочных дисков с ультразвуком, при которых обеспечивается наилучшее соотношение между их режущей способностью и шириной пропила. Для алмазообработки это соотношение имеет важное значение, так как оно связывает производительность операции распили-

вания с величиной безвозвратных потерь алмазного сырья при ее выполнении. Отмеченное обстоятельство определило необходимость проведения данных исследований.

Методика проведения исследований. Все работы, связанные с выполнением исследований, можно разделить на два этапа. На первом (подготовительном) производилось изготовление распиловочных дисков (образцов). Для этого боковые поверхности их заготовок шаржировались с ультразвуком при различных режимах с помощью специальной установки. Ее подробное описание, а также последовательность выполнения этой операции изложены в работе [4]. Затем осуществлялась термоправка распиловочных дисков, по завершению которой наступал второй этап исследований, на котором они подвергались соответствующим испытаниям.

Для оценки влияния режимов шаржирования распиловочных дисков на их режущую способность (интенсивность распиливания) была использована специальная установка, созданная на базе распиловочной секции станка ШП-2. Ее общий вид приведен на рисунке 1.

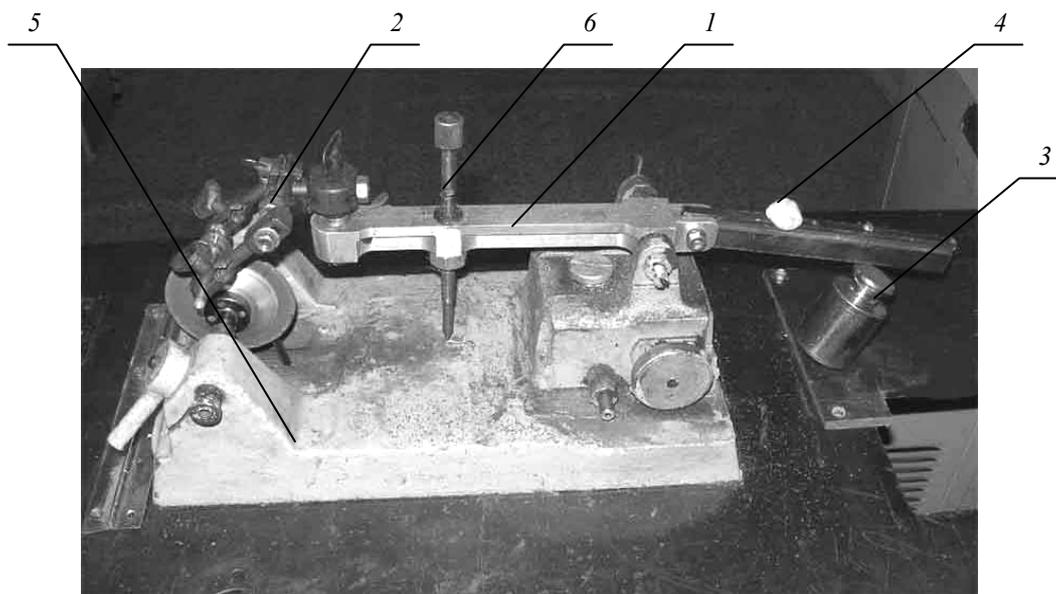


Рис. 1. Общий вид установки для определения интенсивности распиливания образцов из корунда испытываемыми распиловочными дисками:

1 – стрела; 2 – оправка; 3 – груз; 4 – пластилин; 5 – распиловочная секция; 6 – опорный винт

В конструкцию распиловочной секции были внесены следующие изменения: снята проградуированная шкала, а стрела 1 продлена таким образом, чтобы образовать качающую систему. На продленный конец стрелы 1, на расстоянии, примерно равном расстоянию закрепления оправки 2 с обрабатываемым образцом, подвешен груз 3 для уравнивания крутящих моментов. Для окончательного уравнивания полученной рычажной системы, на стрелу 1 наносились кусочки пластилина 4 при периодическом постукивании по основанию стола, на котором базировалась распиловочная секция 5.

При традиционном распиливании монокристаллов алмаза усилие прижима заготовки к инструменту прикладывается ступенчато, путем периодического выворачивания опорного винта 6 на стреле 1 по мере заглубления распиловочного диска в материал заготовки. Видно, что в этом случае за счет влияния субъективного фактора нельзя обеспечить постоянными условия нагружения образца в процессе его распиливания, что неприемлемо при проведении сравнительных испытаний. Чтобы обеспечить постоянное усилие прижима образца к инструменту, а также постоянно контролировать глубину его внедрения, была применена схема с индикатором часового типа ИЧ-10 (1) с ценой деления 0,01 мм (рис. 2), который крепился на магнитной стойке 2. Предварительно в его конструкцию были внесены следующие изменения: снята пружина, создающая измерительное усилие, на нижнем конце подвижного штока закреплен плоский наконечник 3, а на верхнем – площадка 4 для установки аттестованных грузов 5. Это позволило обеспечить постоянную величину усилия прижима заготовки к распиловочному диску, а также непрерывно в процессе обработки измерять глубину ее внедрения в инструмент.

В качестве обрабатываемого материала использовался синтетический корунд (твердостью 9 единиц по шкале Мооса). Изготовленные из него образцы с геометрическими размерами 5×5 мм в сечении распиливались при постоянной частоте вращения испытываемого инструмента ($n_d = 14000 \text{ мин}^{-1}$), постоянной статической нагрузке, равной $0,25 \text{ Н}$, и с постоянной периодичностью подшаржирования распиловочного диска, которое составляло 5 мин. Распиливаемый образец клеивался с помощью специального состава в паз одной из оправок, которая устанавливалась в зажимном устройстве. Со второй стороны корунд поддерживался такой же оправкой. Ориентировалась заготовка «на ребро» аналогично тому, как это происходит при распиливании монокристалла алмаза.

В экспериментах использовались заготовки распиловочного диска номинальной толщины $0,07 \text{ мм}$, которые шаржировались при постоянных акустических параметрах (амплитуде ультразвуковых колебаний – $A_0 = 6 \text{ мкм}$ и частоте вращения деформирующих инструментов – $n_{np} = 75 \text{ мин}^{-1}$) и различных значениях технологических параметров (статической нагрузки и количестве проходов).

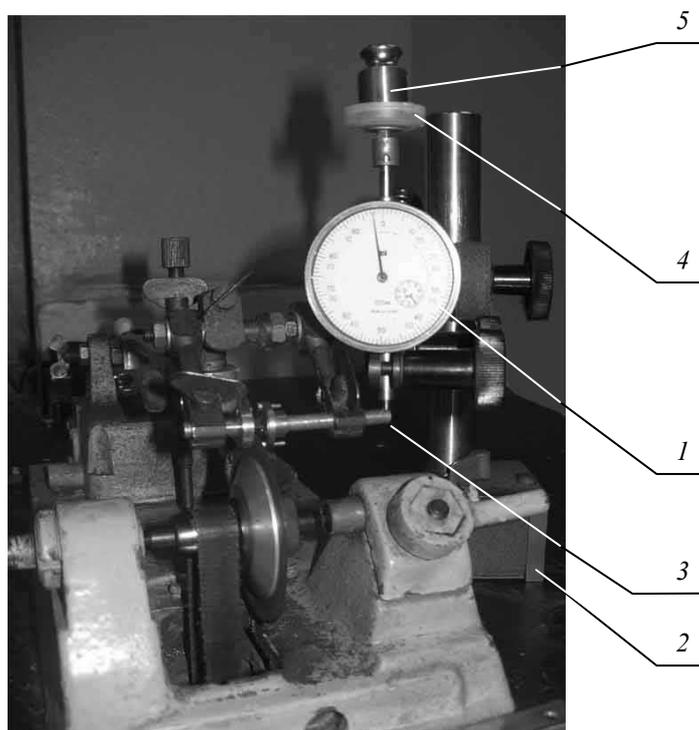


Рис. 2. Общий вид установки, оснащенной индикатором часового типа ИЧ-10, обеспечивающим постоянное усилие прижима заготовки к распиловочному диску и непрерывное измерение глубины его внедрения в материал образца:

1 – индикатор часового типа ИЧ-10; 2 – магнитная стойка;
3 – плоский наконечник; 4 – площадка; 5 – аттестованный груз

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 3 приведены экспериментальные зависимости, отражающие влияние величины статической нагрузки и числа проходов при шаржировании боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков на значение интенсивности их распиливания.

Максимальную интенсивность распиливания обеспечивают распиловочные диски, боковые поверхности которых шаржируются при статической нагрузке 30 Н и числе проходов, равным трем (см. рис. 3). Изменение указанных значений этих параметров в меньшую или большую сторону сопровождается снижением интенсивности распиливания.

Следует подчеркнуть, что установленные зависимости полностью согласуются с результатами экспериментальных исследований, полученных при изучении условий формирования алмазосодержащего слоя на боковых сторонах заготовок распиловочных дисков при их шаржировании с ультразвуком и, в частности, на абразивную способность сформированного алмазосодержащего слоя [4].

Из обобщенного анализа этих данных следует, что во всех случаях наилучший уровень исследуемого параметра, характеризующего качество сформированного алмазосодержащего слоя, соответствует выполнению операции шаржирования при $P_{cm} = 30 \text{ Н}$ и $N = 3$.

Таким образом, полученные результаты позволяют определить оптимальные режимы шаржирования боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков ультразвуком, при которых обеспечивается максимальная режущая способность полученных инструментов: амплитуда ультразвуковых колебаний выходного торца концентратора – 6 мкм при резонансной частоте 18,9 кГц; статическая нагрузка – 30 Н; частота вращения деформирующих инструментов – 75 мин^{-1} ; количество проходов – 3.

Помимо режущей способности и качества поверхности распиленных полуфабрикатов важным эксплуатационным показателем такого инструмента является толщина режущей кромки, определяющая ширину пропила, а следовательно, значение безвозвратных потерь материала заготовки на операции ее распиливания.

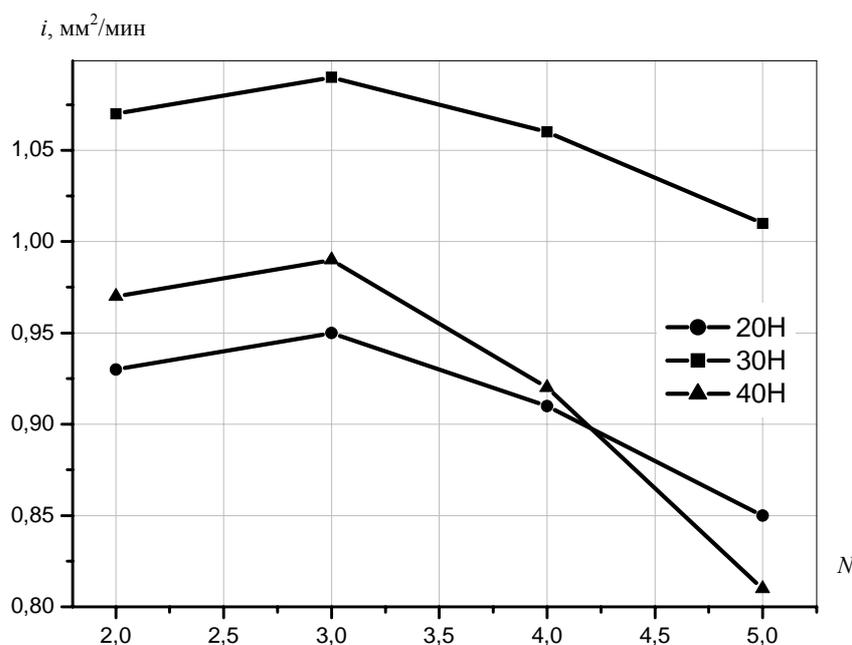


Рис. 3. Зависимость интенсивности распиливания образцов из корунда распиловочными дисками, шаржированными с ультразвуком при различной статической нагрузке от количества проходов при $A_0 = 6 \text{ мкм}$ и $n_{np} = 75 \text{ мин}^{-1}$

Авторами [1, 2] указывается, что приращение толщины исходной заготовки определяется условиями формирования на ее боковых поверхностях в процессе шаржирования алмазосодержащего слоя. То есть размером и глубиной внедрения алмазных частиц в материал заготовки, их разновысотностью, а также формированием одно- или многослойного алмазосодержащего покрытия. Последнее возникает в том случае, если после выполнения операции шаржирования диски не промываются с целью удаления остатков алмазной суспензии, а только протираются ветошью, как это принято по существующей технологии. В результате на их боковых поверхностях остается определенный слой алмазной суспензии, который после выполнения операции термоправки и выгорания ее жидкой фазы (касторового масла), формирует на поверхности дополнительное алмазосодержащее покрытие. Это приводит, с одной стороны, к увеличению толщины режущей кромки инструмента, что является нежелательным, но с другой – может положительно повлиять на уровень интенсивности распиливания.

Для выяснения этих принципиально важных положений была проведена серия экспериментальных исследований с использованием следующей методики.

Объектом испытаний служили распиловочные диски с номинальной толщиной исходной заготовки 0,07 мм, которые шаржировались по трем технологическим маршрутам:

- маршрут 1 – на боковые поверхности заготовки дозированно в виде капель наносилась алмазная суспензия, затем осуществлялось их шаржирование с ультразвуком на оптимальных режимах, после чего заготовки промывались и подвергались термоправке;

- маршрут 2 – после нанесения на боковые поверхности капель алмазной суспензии производилось ее предварительное равномерное растирание на обрабатываемых поверхностях (без ультразвука), затем осуществлялось их шаржирование с ультразвуком на оптимальных режимах, после чего заготовки промывались и подвергались термоправке;

- маршрут 3 – его отличие от предыдущего состоит в том, что после шаржирования диски не промывались, а только протирались ветошью для удаления излишков алмазной суспензии, после чего они подвергались термоправке.

Для определения толщины пропила и интенсивности распиливания испытываемых дисков использовалась та же установка и те же режимы, что и в предыдущих исследованиях. Отличие заключалось в том, что образец из синтетического корунда обрабатывался за фиксированное время (3 мин) распиливания при однократном подшаржировании торцевой поверхности инструмента только перед врезанием в материал образца. После обработки корундового образца в течение указанного времени испытываемыми дисками, он снимался, промывался. С помощью микроскопа измерялась ширина пропила, полученная при распиливании.

В таблице представлены данные о ширине пропила и интенсивности распиливания образца из синтетического корунда распиловочными дисками, изготовленными по трем технологическим маршрутам.

Данные о ширине пропила и интенсивности распиливания образца из синтетического корунда, распиловочными дисками изготовленными по трем технологическим маршрутам

Маршрут изготовления распиловочного диска	Номинальная толщина исходной заготовки распиловочного диска, мм	Ширина пропила на образце, мм	Интенсивность распиливания образца, мм ² /мин
Маршрут № 1	0,07	0,086	1,77
Маршрут № 2		0,094	1,93
Маршрут № 3		0,106	2,00

Из приведенных данных следует, что наименьшая ширина пропила обеспечивается дисками, изготовленными по маршруту 1, несколько большую ширину дают диски, изготовленные по маршруту 2, а наибольшее ее значение соответствует дискам, изготовленным по маршруту 3.

Если толщину исходной заготовки принять за 100 %, то приращение ширины пропила, полученное дисками, изготовленными по маршрутам 1, 2 и 3, соответственно составит 23, 34, и 51 %. Отсюда следует, что диски, изготовленные по маршруту 3, из-за значительной ширины распила не удовлетворяют такому важному требованию, как минимизация безвозвратных потерь материала заготовки на операции распиливания. Вместе с тем для принятия окончательного решения по обоснованному выбору маршрута изготовления распиловочных дисков необходимо учесть интенсивность распиливания, которую они обеспечивают при их изготовлении по трем рассматриваемым маршрутам.

Из анализа данных, приведенных в таблице видно, что наименьшее значение интенсивности распиливания имеют диски, изготовленные по маршруту 1, несколько большее – изготовленные по маршруту 2, и еще большее значение интенсивности распиливания обеспечивают диски, изготовленные по маршруту 3.

Примем значение интенсивности распиливания дисками, изготовленными по маршруту 1, за 100 %, тогда его приращение для дисков, изготовленных по маршрутам 2 и 3, соответственно составит 9 и 13 %.

Если сейчас сравнить приращение интенсивности распиливания и приращение ширины пропила, то видно, что наиболее оптимальное соотношение этих параметров обеспечивают диски, изготовленные по маршруту 2. По сравнению с дисками, изготовленными по маршруту 1, они обеспечивают повышение интенсивности распиливания на 9 %, а приращение ширины распила на 11 %. По отношению к ним диски, изготовленные по маршруту 3, хотя и обеспечивают повышение интенсивности распиливания на 4 %, но при этом приращение ширины пропила составляет 17 %. То есть выигрыш в повышении производительности выполнения операции оказывается несравним по отношению к возрастанию безвозвратных потерь материала заготовки.

Поэтому обоснованно можно принять, что наилучшее соотношение между интенсивностью распиливания и шириной пропила обеспечивают распиловочные диски, изготовленные по маршруту 2, включающему в себя следующие этапы:

- нанесение на боковые поверхности заготовки диска дозированное количество алмазной суспензии в виде капель;
- растирание алмазной суспензии вращающимися деформирующими инструментами (без ультразвука) в течение 0,5 мин до получения ее равномерного слоя на обрабатываемой поверхности;
- шаржирование заготовки с ультразвуком на оптимальных режимах, промывка обработанной заготовки для удаления излишков алмазной суспензии и термоправка распиловочных дисков.

Таким образом, обобщая результаты проведенных исследований, можно сформулировать следующие основные **выводы**:

1) на базе распиловочной секции станка модели ШП-2 создана установка и разработана методика проведения экспериментальных исследований по определению режущей способности распиловочных дисков. При этом конструкция установки позволяет обеспечить в процессе обработки постоянную величину прижима образца к распиловочному диску, а непрерывное измерение глубины – величину его внедрения в материал заготовки;

2) получены экспериментальные зависимости интенсивности распиливания образцов из синтетического корунда распиловочными дисками, шаржированными при различных значениях технологических параметров, на основании которых установлены оптимальные режимы выполнения этой операции, обеспечивающие наибольшую режущую способность получаемых инструментов (амплитуда ультразвуковых колебаний – 6 мкм при частоте 18,9 кГц; частота вращения деформирующих инструментов – 75 мин^{-1} ; величина их статического давления на обрабатываемую поверхность – 0,16 МПа; количество проходов – 3);

3) на основании анализа полученных экспериментальных данных определен рациональный маршрут выполнения операции шаржирования боковых поверхностей распиловочных дисков с ультразвуком, при котором обеспечивается наилучшее соотношение между интенсивностью распиливания образцов из синтетического корунда и шириной пропила, определяющей величину безвозвратных потерь материала в процессе распиливания. Маршрут включает в себя следующие операции:

- нанесение на боковые поверхности заготовки диска дозированное количество алмазной суспензии в виде капель;
- растирание алмазной суспензии вращающимися деформирующими инструментами (без ультразвука) в течение 0,5 мин;
- шаржирование поверхности заготовки с ультразвуком на оптимальных режимах;
- промывку обработанной заготовки для удаления излишков алмазной суспензии;
- термоправку распиловочных дисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов, В.И. Технология обработки алмазов в бриллианты / В.И. Епифанов, А.Я. Лесина, Л.В. Зыков; под ред. В.И. Епифанова. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.
2. Киселев, М.Г. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, В.А. Ибрагимов; под ред. М.Г. Киселева. – Минск: Тесей, 2001. – 344 с.
3. Артемьев, В.В. Ультразвуковые виброударные процессы / В.В. Артемьев, В.В. Клубович, В.Н. Санкевич. – Минск: БНТУ, 2004. – 258 с.
4. Киселев, М.Г. Определение оптимальных режимов двустороннего шаржирования с ультразвуком боковых поверхностей распиловочных дисков по их абразивной способности / М.Г. Киселев, А.А. Новиков, Д.А. Степаненко // Вестн. БНТУ. – 2005. – № 3. – С. 34 – 39.

Поступила 27.12.2007