

УДК 621.9.048.4

М. Г. КИСЕЛЕВ, А. В. ДРОЗДОВ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВИБРОУДАРНОМ РАСПИЛИВАНИИ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

Белорусский национальный технический университет

(Поступила в редакцию 11.07.2003)

Одной из операций, характеризующихся весьма низкой производительностью, при обработке кристаллов алмаза в бриллианты является их механическое распиливание. Проводимые в настоящее время исследования по повышению производительности и качества распиливания кристаллов алмаза можно свести к двум основным направлениям.

Первое связано с совершенствованием традиционного процесса механического распиливания кристаллов алмаза, а второе — с применением методов обработки, эффективность которых не зависит или незначительно зависит от твердости обрабатываемого материала. К ним следует отнести лазерный, термохимический, а также электрофизические методы. Последние основаны на использовании мощных ионных или электронных пучков. Вместе с тем, обобщая данные, касающиеся эффективности и экономической целесообразности применения различных методов разделения кристаллов алмаза, можно отметить, что способ механического распиливания благодаря его простоте, универсальности и обеспечению удовлетворительных технологических показателей остается основным в алмазообработке.

С целью повышения производительности и качества процесса распиливания в [1, 2] предлагается вводить в зону распиливания ультразвуковые колебания, сообщая их обрабатываемой заготовке в направлении, перпендикулярном торцевой (режущей) поверхности распиловочного диска. Для реализации виброударного режима взаимодействия распиловочного диска с обрабатываемой заготовкой и с учетом минимальных конструктивных изменений традиционной распиловочной секции станка мод. ШП-2 было предложено использовать акустическую колебательную систему разомкнутого типа, реализующую ударное взаимодействие элементов в системе инструмент—обрабатываемая заготовка. Схема данной установки представлена на рис. 1.

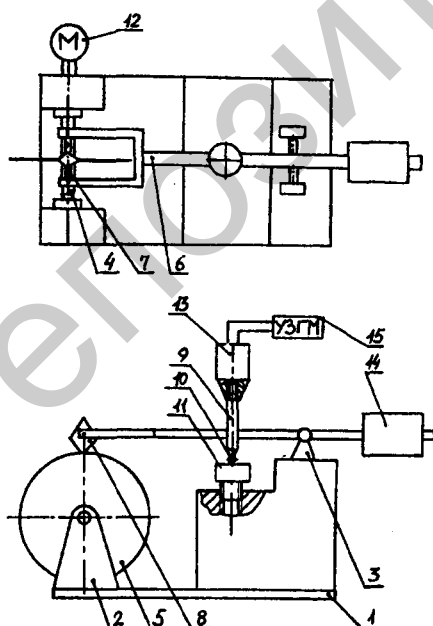


Рис. 1. Схема установки для распиливания кристаллов алмаза в виброударном режиме

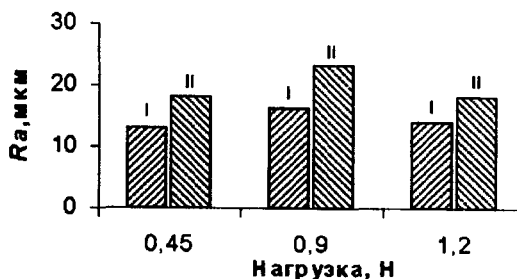


Рис. 2. Зависимость среднего значения параметра шероховатости распиленной поверхности R_a от статической нагрузки: I, II — виброударный и обычный режимы соответственно

Установка для распиливания кристаллов алмаза содержит станину 1, на которой установлены две пары стоек: передняя 2 и задняя 3. В передней паре стоек 2 в бронзографитовых подшипниках скольжения вращается шпиндель 4 с распиловочным диском 5. Задняя пара стоек 3 станины 1 распиловочной секции служит для установки стрелы 6 с оправками 7, в которых закрепляется обрабатываемая заготовка 8. Для ориентации обрабатываемой заготовки 8 относительно распиловочного диска 5 к концу одной из оправок с помощью резьбового крепления прикреплялся фланец, в котором был выполнен квадратный паз с размером стороны, равным 6 мм. Стрела 6 жестко связана с стержнем-концентратором 9 с помощью двух зажимных винтов. Стержень-концентратор 9 для усиления амплитуды колебаний имеет полуволновую длину и конический наконечник. Через промежуточный элемент 10 стержень-концентратор 9 опирается на регулировочную платформу 11, на которой выполнена резьба с мелким шагом. На торце конического наконечника выполнена сферическая поверхность, с которой сопрягается подвижный промежуточный элемент 10 в виде стального шарика диаметром 3 мм.

Изменение угла наклона стрелы и подача заготовки на распиловочный диск, а также ее отвод происходят при повороте регулировочной платформы 11 вокруг своей оси и ее перемещении с помощью резьбового соединения относительно станины распиловочной секции. Обрабатываемая заготовка 8 вклеивается в квадратный паз на фланце оправки 7 и поджимается второй оправкой, закрепленной в шарнирном устройстве стрелы 6. Вращение шпинделя 4 осуществляется с помощью плоскоременной передачи (на рис. 1 не показана) от асинхронного электродвигателя 12. Ультразвуковой преобразователь 13 установлен над стержнем-концентратором 9 и контактирует с ним с помощью резьбового соединения. Для уравнивания стрелы 6 и создания рабочего давления на обрабатываемой заготовке 8 установлен регулируемый противовес 14. Для возбуждения виброударного режима работы в зоне распиливания была использована ультразвуковая аппаратура, включающая генератор 15 ультразвуковых колебаний выходной мощностью до 40 Вт с частотой в пределах 22—44 кГц и пьезоэлектрический преобразователь с номинальной частотой 44 кГц.

Установка работает следующим образом. Включаются ее электродвигатель 12 и ультразвуковой преобразователь 13, от которого колебания передаются через стрелу 6 на кристалл 8. При помощи регулировочной платформы 11 стрела 6 с закрепленным кристаллом 8 опускается на режущий инструмент 5. Затем, меняя параметры ультразвукового воздействия, добиваются максимального качества поверхности на начальном и конечном этапах обработки и значительного повышения производительности в промежутке между этими этапами. Таким образом, при работе данной экспериментальной установки довольно просто реализуется виброударный режим взаимодействия виброакустической системы с жестким основанием.

Для определения степени влияния виброударного режима обработки на качество распиленной поверхности заготовки был выполнен комплекс сравнительных экспериментальных исследований по распиливанию образцов в виде кубиков из кварцевого стекла марки КС-13 со стороной, равной 5 мм. Распиливание производилось как в обычных условиях, так и при реализации виброударного режима обработки. В результате получены данные, отражающие влияние статической нагрузки $P_{ст}$ на шероховатость площадок распиленных поверхностей, в частности на среднее арифметическое значение параметра Ra поверхности распила (рис. 2).

Из представленных данных видно, что под действием ультразвуковых колебаний высота микронеровностей поверхностей площадок распиленных образцов существенно меньше, чем при традиционной обработке. Кроме того, можно заметить, что по мере увеличения $P_{ст}$ в начале происходит рост величины Ra , которая достигает своего максимального значения при $P_{ст} = 0,90$ Н (рис. 2). Возрастание параметра Ra связано с увеличением импульса силы, действующего в момент контакта режущей поверхности диска с заготовкой. Это приводит к большей глубине внедрения алмазных зерен в обрабатываемый материал и к большей зоне его разрушения. При $P_{ст} = 1,20$ Н ударный импульс снижается вследствие уменьшения эффекта «затягивания» промежуточного подвижного элемента на виброударный режим работы, что приводит к снижению параметра Ra (рис. 2).

Отметим, что для дополнительной оценки качества поверхности по глубине распила, а также изучения процесса формирования шероховатости обработанной поверхности были получены ее фотографии с использованием аттестованного сканирующего электронного микроскопа модели «Sam Scan» фирмы «Кембридж-инструмент» (Англия). Перед проведением исследований распиленные образцы из кварцевого стекла припаивались с помощью се-

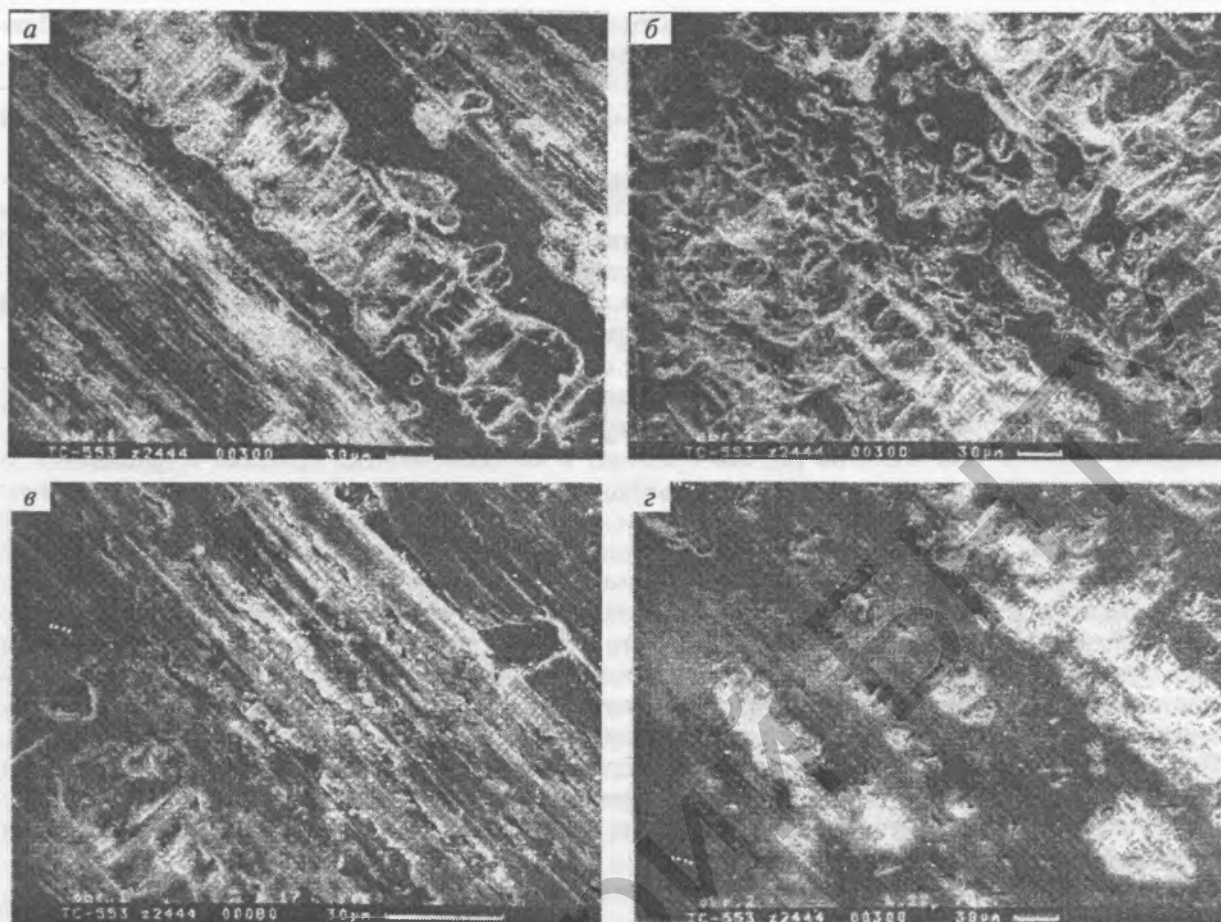


Рис. 3. Фотографии распиленной поверхности: а, б — при распиливании в обычном и в виброударном режимах соответственно; в, г — начальная зона обработки без и с ультразвуковыми колебаниями соответственно

ребряного припоя марки ПсрМО 68-27-5 ГОСТ 19746—74 к специальной оправке. Затем для создания отраженного от исследуемой поверхности пучка электронов на заготовку наносился токопроводящий слой сусального золота. При опыте фотографировались участки середины распиленной поверхности, а также начальная зона обработки (рис. 3).

Переходя к анализу полученных данных, необходимо рассмотреть механизм формирования шероховатости обработанной поверхности заготовки. Отметим, что на качество распиленных заготовок основное влияние оказывают процессы взаимодействия обработанных частей материала образцов с боковой поверхностью распиловочного диска (в частности, процессы трения и изнашивания). Исходя из этого, механизм формирования шероховатости пропиленной поверхности можно представить следующим образом. За счет механического взаимодействия торцевой (режущей) поверхности распиловочного диска с заготовкой в контактных зонах, прилегающих к его кромкам, происходит скалывание частиц обрабатываемого материала. В результате на пропиленной поверхности заготовки возникают микронеровности, формирующие первоначальную шероховатость, а также образуется предразрушенный (ослабленный) слой.

По мере заглубления диска в заготовку данные участки вступают в контакт с его боковыми поверхностями и подвергаются изнашиванию в результате трения скольжения взаимодействующих поверхностей. Это сопровождается изменением первоначальной шероховатости поверхностей пропиленных участков заготовки на протяжении всего времени выполнения операции. При этом характер изменения шероховатости (ее увеличение или уменьшение) будет определяться видом изнашивания трущихся поверхностей, условиями трения (давление на площадках контакта и скорость скольжения) и продолжительностью их взаимодействия. Если принять, что доминирующим видом износа в процессе трения стеклянной заготовки о боковую поверхность диска является окислительный [3], то можно утверждать, что по мере увеличения продолжительности распиливания шероховатость поверхности будет уменьшаться за счет проявления полирующего эффекта, свойственного этому виду изнашивания.

Таким образом можно сделать вывод о том, что реализация виброударного режима обработки акустической системы установки приводит к снижению значения параметра Ra (рис. 2). Этот факт можно объяснить рядом особенностей протекания процесса в условиях виброударного воздействия, влияющих на условия формирования микронеровностей распиленной поверхности заготовки.

Во-первых, торцевая (режущая) поверхность распиловочного диска взаимодействует с материалом заготовки в высокочастотном виброударном режиме, что обуславливает, как показали результаты предварительных опытов, скалывание частиц меньших размеров (средний размер 60 мкм по сравнению с 140 мкм при обычном распиливании). В результате величина микронеровностей поверхности пропиленной заготовки на участках, прилегающих к кромкам диска (первоначальная шероховатость), будет меньше по сравнению с обработкой в обычных условиях.

Во-вторых, процесс трения скольжения пропиленной поверхности заготовки с боковыми поверхностями диска протекает при наличии высокочастотных колебательных микросмещений, действующих в направлении, параллельном поверхности их контакта, и перпендикулярно вектору скорости резания. Как известно [3], это приводит к интенсификации процесса изнашивания за счет приращения пути относительного скольжения поверхностей, проходящего в единицу времени, по сравнению с обычной обработкой. Данное предположение хорошо подтверждается фотографиями на рис. 3, а, б. Видно, что по сравнению с распиливанием в обычных условиях обработанная поверхность при виброударном распиливании не имеет ярко выраженной направленности микроарапин. Кроме того, выступы на обработанной в обычном режиме поверхности (рис. 3, а) значительно выше (скалывание частиц большего размера), чем при виброударном распиливании (рис. 3, б). Процесс формирования обработанной поверхности в начале распиливания представлен на рис. 3, в, г. В результате снятия распиловочным диском тонких слоев обрабатываемого материала в условиях традиционного распиливания получается ступенчатая поверхность (рис. 3, в). При реализации же виброударного режима обработки и сообщении вибрационных колебаний обрабатываемой заготовке происходит постепенное истирание ступеней о поверхность режущего инструмента, а также изменение выраженной их направленности относительно подачи заготовки на распиловочный диск (рис. 3, г).

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

Механизм формирования шероховатости при распиливании хрупких материалов включает в себя две последовательные стадии: формирование первоначальной шероховатости в результате скалывания частиц хрупкого материала на участках его контактирования с кромками распиловочного диска и последующее трение изнашивания пропиленной поверхности заготовки о боковые поверхности инструмента, вызывающие снижение (сглаживание) первоначальной шероховатости поверхности за счет проявления полирующего эффекта, характерного для окислительного вида изнашивания.

При распиливании в условиях виброударного режима обработки шероховатость распиленной поверхности оказывается ниже в сравнении с традиционной обработкой, что связано со следующими обстоятельствами. Во-первых, благодаря высокочастотному ударному взаимодействию заготовки с распиловочным диском уменьшается в сравнении с обычной обработкой размер скалываемых частиц материала, что вызывает снижение первоначальной шероховатости, а во-вторых, за счет повышения пути относительного скольжения боковых поверхностей диска с пропиленной поверхностью заготовки, обусловленного их высокочастотным колебательным смещением, интенсифицируется степень проявления полирующего эффекта, что приводит к снижению высоты микронеровностей обработанной поверхности заготовки.

Литература

1. Пат. 1447 РБ: МКИ В28D 5/00. Устройство для обработки алмаза / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, Г. А. Галенюк. № 224 А; Заявл. 28.01.11.1994; Опубл. 16.12.1996 // Афіцыйны бюлетень / Дзярж. Пат. Ведамства РБ. 1996. № 4. Ч. 1 С. 138.
2. Киселев М. Г., Минченя В. Т., Галенюк Г. А., Ермоленко С. Г. // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Тез. докл. конф. Новополоцк, 2002. С. 633–637.
3. Ардамацкий А. Л. Алмазная обработка оптических деталей. Л., 1978.

M. G. KISELYOV, A. V. DROZDOV

THE PARTICULARITIES OF A FORMATION OF A TREATED SURFACE FINISH AT VIBRATION-IMPACT CUTTING OF BRITTLE MATERIALS

Summary

The questions of the mechanism of the shaping to asperity processed surfaces under cutting frail material is considered. The scheme of the modernized installation realizing vibroimpulsive mode of the processing is presented. The values of the parameter Ra and photographers of surfaces sawn up both in usual and in vibroimpulsive mode are given.