

зеток (рис. 3д). Зерна карбида хрома, входящие в состав эвтектики, укрупняются, увеличивается структурная неоднородность покрытия, что отрицательно сказывается на его эксплуатационных свойствах, особенно в химически активных водородосодержащих средах [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Prisevok A. F.** Effekt der Verschleißfestigkeit und Treibtechnologie // Deutschland. – Magdeburg, 1993. – № 1. – S. 46–59.
2. **Получение и структура газотермических покрытий на основе Ni–Cr–B–Si сплавов** / Ю. С. Борисов, И. Н. Горбатов, Б. З. Калиновский и др. // Порошковая металлургия. – 1985. – № 9. – С. 22–26.
3. **Присевко А. Ф., Даукнис В. И., Яковлев Г. М.** Структурное состояние сплавов – основной показатель их износостойкости // Прогрессивная технология машиностроения. – Мн.: Вышэйш. шк., 1972. – С. 41–47.
4. **Спиридонов Н. В., Опекунова Т. Э., Панков А. Б.** Особенности формирования микроструктуры и фазового состава покрытий из самофлюсующихся сплавов при лазерном и газопламенном оплавлении // Физика и химия обработки материалов. – М.: АН СССР, 1989. – С. 56–63.
5. **Ощепков Ю. Н., Ощепкова Н. В.** Особенности структурообразования сплавов системы Ni–Cr–B–Si–C при индукционной наплавке // Металловедение и термообработка металлов. – 1979. – № 10. – С. 14–18.
6. **Хасуй А., Моригахы О.** Наплавка и напыление / Пер. с яп. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
7. **Борисов Ю. С.** Порошки для газотермических покрытий. – Киев, 1984. – 16 с.
8. **Присевко А. Ф.** Механизм водородного изнашивания металлов и сплавов // Вестник БГПА. – 2002. – № 3. – С. 23–36.

УДК 621.937

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ШАРЖИРОВАНИЯ РАСПИЛОВОЧНЫХ ДИСКОВ ПО ИХ АБРАЗИВНОЙ СПОСОБНОСТИ

Докт. техн. наук, проф. КИСЕЛЕВ М. Г., НОВИКОВ А. А., СТЕПАНЕНКО Д. А.

Белорусский национальный технический университет

Цель данной работы – определение оптимальных режимов двустороннего шаржирования с ультразвуком боковых поверхностей распиловочных дисков, обеспечивающих их наибольшую абразивную способность.

Распиловочный диск представляет собой режущий инструмент, применяемый для механического распиливания монокристаллов алмаза и других сверхтвердых материалов. Он изготовляется из оловянисто-фосфористой бронзы (БрОФ 6,5–0,15) диаметром 76 мм и толщиной 0,05...0,09 мм в зависимости от массы распиливаемого кристалла алмаза. На боковых сторонах заготовки распиловочного диска тем или иным способом формируется алмазонасный слой [1, 2]. Наиболее широко применяется способ механического шаржирования зерен алмазных микропорошков в боковую поверхность

инструмента благодаря его простоте при обеспечении удовлетворительных показателей формирования алмазонасного слоя.

Основными эксплуатационными показателями распиловочных дисков являются: режущая способность, которая оценивается по объему или весу алмаза, удаляемого в единицу времени; стойкость, характеризуемая количеством удаленного алмаза одним распиловочным диском; толщина распила и качество площадок распиленных полуфабрикатов, определяющие выход годного алмазного сырья. На обеспечение высокого уровня этих показателей доминирующее влияние оказывает состояние алмазонасного слоя, получаемого при шаржировании боковых поверхностей распиловочных дисков. Оно характеризуется количеством, размерами, формой, глубиной внедрения, прочностью за-

крепления алмазных частиц в материале диска и равномерностью их распределения по обрабатываемой боковой поверхности инструмента.

Предшествующими исследованиями [1...4] установлено, что путем применения энергии ультразвука в процессе шаржирования распиловочных дисков посредством сообщения колебаний деформирующим элементам можно существенно повысить качество шаржирования их боковых поверхностей за счет реализации режима виброударного втирания зерен алмазных микропорошков в материал подложки, а также увеличить производительность выполнения операции благодаря использованию двусторонней схемы обработки.

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки для двустороннего шаржирования боковых поверхностей распиловочных дисков с ультразвуком, которая была реализована в ходе проведения данных исследований. Она включает две одинаковые синхронно вращающиеся акустические головки 1, собранные на базе пьезокерамических ультразвуковых преобразователей продольных колебаний с коническими концентраторами 2. Головки расположены соосно друг другу навстречу выходными торцами концентраторов, на которых закреплены деформирующие элементы 3 в виде спиленных шариков из стали ШХ-15. Корпуса акустических головок смонтированы на шариковых направляющих 4, допускающих их плавное перемещение вдоль оси вращения преобразователей. Обрабатываемая заготовка распиловочного диска 5 закрепляется на оправке 6, которая установлена в обратных центрах, обеспечивающих малую величину сил трения в опорах. С помощью трособлочной системы и сменных аттестованных грузов (на рисунке не показаны) деформирующие элементы прижимаются к боковым поверхностям заготовки с заданным усилием $P_{ст}$. Питание вращающихся преобразователей осуществляется от ультразвукового генератора 7 через токосъемные устройства 8.

В отличие от ранее примененной данная схема шаржирования принципиально отличается тем, что в ней вращение заготовки распиловочного диска происходит за счет фрикционной передачи вращающего момента от деформирующих элементов. В [3] на основе теоретических исследований особенностей контактного

взаимодействия вращающихся деформирующих элементов с боковыми поверхностями распиловочного диска в условиях ультразвукового воздействия получены аналитические зависимости, позволяющие определить частоту вращения обрабатываемой заготовки в зависимости от частоты вращения деформирующих элементов, статической нагрузки и амплитуды ультразвуковых колебаний. Полученные зависимости полностью согласуются с результатами экспериментальных исследований, в ходе которых получены численные значения частоты вращения распиловочного диска при различных режимах шаржирования его боковых поверхностей в условиях ультразвукового воздействия.

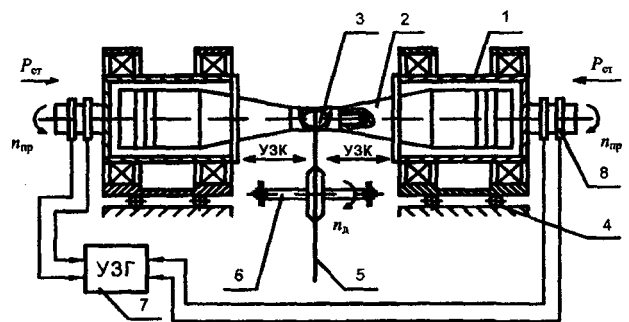


Рис. 1

Установлено, что за счет ультразвукового воздействия можно существенным образом и целенаправленно влиять на условия работы фрикционной передачи, а соответственно и на частоту вращения заготовки распиловочного диска и, в конечном итоге, на условия шаржирования ее боковых поверхностей. В принципе, такая схема обработки создает предпосылки для протекания процесса шаржирования в условиях его самоорганизации, а также упрощает конструкцию применяемого технологического оборудования.

Для определения оптимальных режимов шаржирования боковых поверхностей распиловочных дисков с ультразвуком по такой схеме были последовательно проведены две серии экспериментов. Вначале на экспериментальной установке проводилось шаржирование заготовок распиловочных дисков при различных режимах обработки. Затем оценивалась абразивная способность их боковых поверхностей. По результатам этих серий экспериментов опреде-

лялись оптимальные режимы шаржирования распиловочных дисков, которым соответствует максимальная абразивная способность их боковых поверхностей.

Шаржированию подвергались заготовки распиловочных дисков одной партии поставки толщиной 0,07 мм. Применялась алмазная паста, состоящая из алмазного микропорошка АСМ 28/20 и касторового масла в соотношении 1:2. Перед шаржированием она дозировано наносилась на боковые поверхности заготовки распиловочного диска в пределах обрабатываемой дорожки, ширина которой составляла 12 мм.

В ходе выполнения серии экспериментов по шаржированию варьировались следующие параметры: статическая нагрузка $P_{ст} = 20...40$ Н; частота вращения преобразователей $n_{пр} = 75...190$ об/мин; количество проходов (оборотов диска) $i = 2, 3, 4$. Резонансная частота возбуждения ультразвуковых преобразователей соответствовала 19,25 кГц, а амплитуда колебательных смещений выходного торца концентратора составляла 6...8 мкм.

После выполнения операции шаржирования на заданных режимах обработки распиловочный диск снимали, тщательно промывали ацетоном и сушили. Затем для придания требуемой плоскостности обработанные распиловочные диски складывались в пакет в специальном зажимном приспособлении и проводилась их термическая правка. После этого пакет термообработанных инструментов разбирали на отдельные распиловочные диски, которые потом подвергали испытаниям на абразивную способность их боковых поверхностей.

Для количественной оценки абразивной способности шаржированных боковых поверхностей распиловочных дисков использовалась специальная установка, схема которой приведена на рис. 2. Она изготовлена на базе распиловочной секции станка модели ШП-2 и состоит из станины 1, на которой в обратных центрах установлен шпиндель 2, получающий вращение от вала электродвигателя 3 через плоскоременную передачу 4. Частота его вращения составляет 14000 об/мин.

Испытуемый распиловочный диск 5 закрепляется на шпинделе между опорным и прижимным фланцами. На стойке (на рисунке не

показана) смонтирован оригинальный узел, с помощью которого осуществлялось изнашивание образцов о боковые поверхности распиловочного диска и одновременно определялась величина их линейного износа. Для этого использованы две многооборотные индикаторные головки типа МИГ-1 с ценой деления 0,001 мм, которые расположены с противоположных сторон распиловочного диска. На штоках индикаторов установлены оправки 6, в которых закрепляются испытуемые образцы 7 из кварцевого стекла в виде цилиндров диаметром 3,5 мм. Усилие прижима образцов к боковым поверхностям распиловочного диска создается пружинами индикаторов и соответствует величине их измерительного усилия. За величину линейного износа при оценке абразивной способности шаржированных боковых поверхностей распиловочных дисков бралось среднее значение показаний двух индикаторов. В ходе этих экспериментов определялась величина линейного износа образцов за одну минуту, по которой оценивалась абразивная способность шаржированных боковых поверхностей распиловочных дисков.

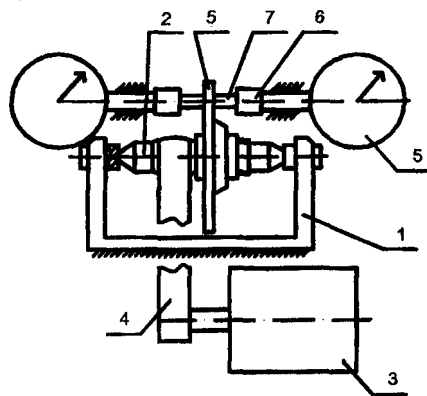


Рис. 2

В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено, что доминирующее влияние на абразивную способность боковых поверхностей распиловочных дисков оказывают: частота вращения ультразвуковых преобразователей (деформирующих элементов), количество оборотов (проходов) обрабатываемой заготовки в процессе шаржирования и статическая нагрузка.

На рис. 3 приведены зависимости минутного линейного износа образцов Δl от частоты вращения преобразователей $n_{пр}$ и статической

нагрузки $P_{ст}$ при шаржировании распиловочных дисков за три прохода. Видно, что максимальная величина минутного линейного износа образцов, т. е. наибольшая абразивная способность шаржированных поверхностей, достигается при частоте вращения преобразователей порядка 75 об/мин и статической нагрузке 30 Н.

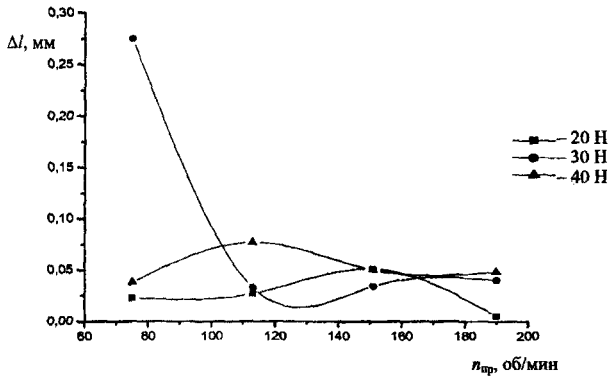


Рис. 3

При объяснении полученных зависимостей необходимо учитывать то обстоятельство, что как частота вращения преобразователей, так и статическая нагрузка при шаржировании с ультразвуком существенно влияют на условия работы фрикционной передачи вращающиеся деформирующие элементы — заготовка распиловочного диска [3]. Поэтому наряду с интенсивностью ультразвука они определяют частоту вращения заготовки распиловочного диска в процессе шаржирования, а соответственно ее круговую подачу на один оборот деформирующих элементов. Так, для указанных оптимальных значений $n_{пр}$ и $P_{ст}$ и постоянной интенсивности ультразвука средняя частота вращения заготовки была равна 2,6 об/мин, а круговая подача на один оборот преобразователей составила порядка 0,22 рад/об. Исходя из этого, можно утверждать, что при таких режимах шаржирования с ультразвуком обеспечиваются наилучшие условия для внедрения и закрепления зерен алмазных микропорошков в боковые поверхности распиловочного диска, в результате чего достигается их наибольшая абразивная способность.

Влияние количества оборотов (проходов) заготовки распиловочного диска в процессе шаржирования с ультразвуком на величину минутного линейного износа образцов Δl отража-

ют зависимости, приведенные на рис. 4. Из них видно, что максимальному линейному износу образцов, т. е. наибольшей абразивной способности боковых поверхностей, соответствует их шаржирование при оптимальных значениях $n_{пр}$, $P_{ст}$ и при выполнении операции за три оборота заготовки диска. Причем как с уменьшением количества проходов, так и с увеличением относительно оптимального значения ($i = 3$) абразивная способность боковых поверхностей распиловочного диска резко снижается.

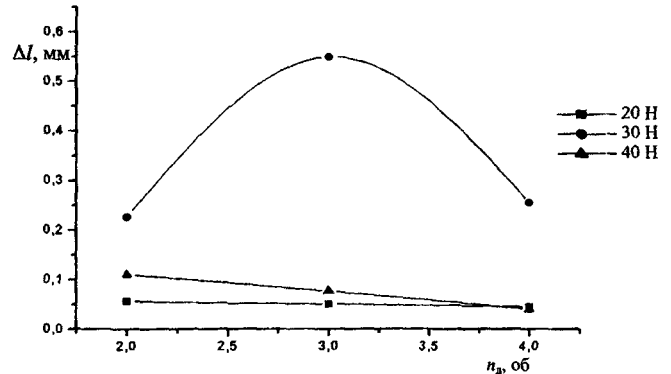


Рис. 4

Для объяснения этих закономерностей целесообразно перейти от количества проходов i к продолжительности шаржирования $T_{шар}$ боковых поверхностей распиловочного диска, исходя из частоты его вращения в процессе обработки. Так, при $i = 2, 3$ и 4 время шаржирования $T_{шар}$ соответственно составляло 1,46; 2,34; 3,04 мин.

Наличие оптимальной продолжительности шаржирования, обеспечивающей наибольшую абразивную способность обработанных поверхностей, связано со следующими особенностями протекания процесса внедрения и закрепления алмазных частиц в материал диска. Как показывают результаты предшествующих исследований [2], а также собственные наблюдения, развитие процесса шаржирования во времени сопровождается последовательным протеканием трех характерных стадий взаимодействия алмазных частиц с обрабатываемой поверхностью. На первой, которую можно назвать стадией приработки, в результате взаимодействия зерен алмазных микропорошков с обрабатываемой поверхностью происходит формирование на ней новой топографии, что одновременно сопровождается разрушением

алмазных зерен. Поэтому на этой стадии из-за достаточно высокой подвижности алмазных частиц в зоне обработки процесс их шаржирования в поверхность заготовки практически не реализуется.

Окончание этой и наступление непосредственно стадии шаржирования совпадают по времени с моментом, когда параметры сформированной топографии поверхности и средний размер алмазных частиц оказываются такими, что их подвижность в зоне обработки резко снижается и происходят активное внедрение и закрепление алмазных частиц в поверхностном слое заготовки.

При дальнейшем увеличении продолжительности шаржирования наступает третья стадия, при которой закрепленные в поверхностном слое алмазные частицы начинают уже выполнять роль инструмента, вызывая разрушение поверхности деформирующих элементов. В результате происходит изнашивание алмазного слоя, сформированного на предыдущей стадии шаржирования, обуславливая тем самым снижение его абразивной способности. На основе приведенных рассуждений правомерно утверждать, что для конкретных условий и режимов шаржирования существует его оптимальная продолжительность, которая соответствует времени завершения второй стадии взаимодействия алмазных частиц с обрабатываемой поверхностью. Так, в процессе шаржирования с ультразвуком боковых поверхностей распиловочных дисков при $n_{пр} = 75$ об/мин и $P_{ст} = 30$ Н оптимальная продолжительность обработки составляет 2,3...2,7 мин, что соответствует трем оборотам (проходам) заготовки. При меньшем ($i = 2$) или большем ($i = 4$) количестве проходов продолжительность шаржирования соответствует либо первой, либо третьей стадии взаимодействия алмазных частиц с обрабатываемыми поверхностями, что в обоих случаях приводит к снижению их абразивной способности.

ВЫВОД

В результате проведенного комплекса экспериментальных исследований определены оптимальные режимы двустороннего шаржирования с ультразвуком боковых поверхностей распиловочных дисков с фрикционной передачей вращающего момента обрабатываемой заготовке. Установлено, что наивысшая абразивная способность шаржированных поверхностей для условий проводимых экспериментов обеспечивается при следующих режимах обработки: частота ультразвуковых колебаний – 19...21 кГц, амплитуда ультразвуковых колебаний выходного торца концентратора – 6...8 мкм, частота вращения ультразвуковых преобразователей (деформирующих элементов) – 70...75 об/мин, статическая нагрузка прижима деформирующих элементов к обрабатываемой поверхности – 28...32 Н, круговая подача заготовки на один оборот деформирующих элементов – 0,22 рад/об, продолжительность выполнения операции шаржирования – 2,3...2,7 мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов В. И., Песина А. Я., Зыков Л. В. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М.: Высш. шк., 1982. – 335 с.
2. Киселев М. Г., Минченя В. Т., Ибрагимов В. А. Ультразвук в поверхностной обработке материалов. – Мн.: Тесей, 2001. – 344 с.
3. Исследование механизма взаимодействия деформирующего инструмента с распиловочным диском при двустороннем ультразвуковом шаржировании с фрикционной передачей вращающего момента / М. Г. Киселев, О. В. Балашова, А. А. Новиков, Д. А. Степаненко // Новые материалы и технологии: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: Материалы докл. 6-й Междунар. науч.-техн. конф. – Мн.: Тонпик, 2004. – С. 264–266.
4. Математическое описание скоростных режимов вращения режущего инструмента при виброакустическом шаржировании с фрикционной передачей вращающего момента / М. Г. Киселев, О. В. Балашова, А. А. Новиков, Д. А. Степаненко // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 2. – С. 64–67.