

УДК 621.923.74

ОБРАБОТКА СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ИНСТРУМЕНТ

*академик, д-р техн. наук, проф. В.В. КЛУБОВИЧ, Н.М. ЛАППО, А.В. МОСИН
(Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск)*

Предложена технология вибрационной полировки волок из сверхтвердых материалов с использованием энергии низкочастотных и ультразвуковых колебаний. Технология позволяет значительно снизить усилие резания, повысить стойкость инструмента, интенсифицировать процесс механической обработки материалов и способствует улучшению физико-механических свойств поверхностного слоя, уменьшению его шероховатости, повышению точности обработки.

Использование в промышленности изделий и инструментов из сверхтвердых материалов (СТМ), таких как природный и синтетический алмазы, твердые сплавы, требует создания новых высокоэффективных технологий и оборудования для их производства и обработки. Сверхтвердые материалы широко применяются в волоочильном производстве при изготовлении волок. Однако в процессе изготовления волок возникают значительные трудности при создании микроотверстий различного профиля в сверхтвердых материалах. Поэтому современная технология изготовления профильных отверстий в СТМ включает в себя операцию лазерной прошивки чернового отверстия, операцию ультразвукового расшлифования профиля отверстия и операцию алмазно-абразивной полировки поверхности волоочильного канала. Причем наиболее трудоемкой является операция алмазно-абразивной полировки, которая занимает до 50 % технологического времени изготовления изделия.

В процессе эксплуатации волокнистые структуры подвергаются высоким контактным давлениям, температурному воздействию и непрерывному истиранию. Поэтому работоспособность волоочильного инструмента в значительной степени определяется технологией изготовления и техническими требованиями к качеству и геометрии волоочильного канала.

С учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала, технологических требований к точности и качеству изготавливаемого изделия применяют ряд способов обработки волок. Широкое использование получила лазерная обработка СТМ, основанная на использовании тепла, генерируемого световым лучом с высокой концентрацией переносимой энергии. Способ позволяет изготавливать микроотверстия до 0,01 мм в труднообрабатываемых материалах, таких как алмаз, рубин, сапфир, твердые сплавы. Представляет интерес электронно-лучевой способ обработки отверстий. Этот способ применяют для чернового прошивания отверстий диаметром 0,04 мм и более в алмазных волокнах. Для получения круглого отверстия алмазной заготовке сообщают вращение с небольшой скоростью.

В промышленности широко используется электрохимический способ обработки волок из твердого сплава. Этим способом формируют отверстия волок диаметром 1...10 мм, а затем волокнистые структуры подвергаются абразивной полировке.

Большими возможностями, применительно к технологии изготовления волоочильного канала волок из СТМ, обладает ультразвуковой способ обработки, основанный на разрушении материала изделия при воздействии на него, через абразивную прослойку инструмента колеблющегося с ультразвуковой частотой [1, 2]. Способ применяют на операциях формообразования профильного отверстия, шлифования и полирования элементов волоочильного канала волок. Ультразвуковые колебания в процессе обработки сообщаются инструменту или обрабатываемому изделию.

Основными признаками характеризующими процесс абразивной полировки (доводки) изделий являются: одновременное воздействие на поверхность детали многочисленных режущих зерен, протекающее при относительно низких скоростях и давлениях, применение микрозернистых порошков из обычного абразива, алмазов и эльбора в составе паст и суспензий, незначительная роль тепловых явлений и отсутствие связанных с ними изменений в поверхностном слое материала, сложная кинематика процесса.

В зависимости от типа инструмента различают два способа полировки (доводки): обработка свободным абразивом (абразивными и алмазными порошками в составе паст и суспензий, нанесенными на поверхность притира или обрабатываемой детали), обработка связанным абразивом (абразивными и алмазными порошками в составе паст, шаржированными в материал притира). Второй способ полировки является более совершенным, поскольку позволяет достигать высокого качества поверхности канала волок при тонкой доводке их притирами.

Для интенсификации процесса абразивной доводки волок применяют низкочастотные колебания, которые прикладывают к детали или инструменту, сообщая таким образом вибрационное движение с частотой 20...200 Гц. В этом случае создаются принципиально новые кинематические условия микрорезания, происходит изменение условий трения и износа абразивных зерен, что приводит к улучшению условий формирования поверхностного слоя. Благодаря этим особенностям производительность процесса (съем материала в единицу времени) увеличивается примерно в 2 раза, отклонение профиля продольного сечения и отклонение от круглости уменьшается в среднем на 30 %, шероховатость поверхности также уменьшается по сравнению с обычным способом полировки без вибраций.

В Институте технической акустики НАН Беларуси разработан способ шлифования отверстий малых диаметров, который позволяет значительно увеличить производительность и получить заданную геометрию волоочильного канала волок [3]. Схема обработки волоочильного канала волокна приведена на рисунке. Жгут 1 пропускают через волоку 2, закрепленную в шпинделе 3 с возможностью вращения вокруг оси и возвратно-поступательного перемещения. Концы 4 и 5 жгута развивают и фиксируют направляющими элементами 6 и 7, которые способны осуществлять синхронные микроперемещения вдоль оси, перпендикулярной оси волокна, тем самым регулируя рабочий угол. Далее концы 4 и 5 жгута закрепляют на барабане 8, позволяющем совместно с барабаном 9 осуществлять поступательное перемещение инструмента для смены рабочих участков. Направляющие элементы 6 и 7, а также барабан 8 располагаются в корпусе головки 10, способной совершать вращение вокруг оси волокна, производя при этом свивку или развивку жгута. В зону обработки подают абразивный порошок 11. Развитые концы жгута разводят и фиксируют на расстоянии $l \geq D_{вх}$, где $D_{вх}$ – диаметр входной части волокна, а диаметр жгута выбирают равным 0,6...0,8 исходного диаметра отверстия.

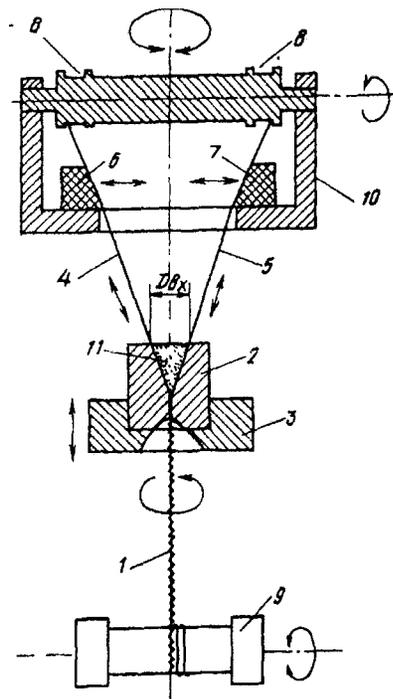


Схема обработки канала волокна

Волоки можно получать различных форм с заданной геометрией волоочильного канала (конусной, радиальной, гиперболической и т.п.). В качестве жгута используют витую стальную, медную, вольфрамовую проволоки. Выбор материала проволок зависит от диаметра обрабатываемого отверстия и вида операции (шлифование, полирование). Жгут может быть свит из двух, четырех и т.д. четного числа проволок. Однако возможен вариант, при котором жгут развивают и концы фиксируют по окружности на равных расстояниях друг от друга. В этом случае число проволок, составляющих жгут, может быть неограниченным и нечетным.

В качестве абразива используют микропорошки на основе природных и синтетических алмазов, а также синтетические сверхтвердые порошковые материалы, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Выбор зернистости абразива и его вида зависит от мате-

риала волокни и вида обработки. Минимальное расстояние, на котором фиксируют распущенные концы жгута, ограничивается диаметром верхней части входной зоны волокни. Диаметр жгута выбирают из соображений необходимости получения заданного профиля волоочильного канала и прочности жгута.

В процессе обработки угол, на который разведены концы жгута, изменяют. По мере износа проволоки в процессе обработки инструмент поступательно перемещают для смены рабочего участка. Это осуществляют завивкой или развивкой жгута с одновременной подачей проволоки вдоль оси волокни, причем подачу осуществляют так, что точка расхождения распущенных концов жгута остается неподвижной.

По предложенному способу производили обработку рабочей зоны волокни конической формы из твердого сплава ВК 4. Калибрующий угол равен 18° , диаметр жгута из двух медных проволок - 0,8 мм. Скорость вращения обрабатываемой волокни 5 м/мин, скорость возвратно-поступательного перемещения волокни 2 м/мин. Время обработки рабочей зоны волокни с заданной геометрией при использовании абразива АСМ 20/14 составило 10 мин.

Наряду с полировкой сверхтвердых материалов по схеме (см. рисунок), нами были разработаны способы доводки, когда к инструменту или волоке, наряду с вращением и возвратно-поступательным перемещением низкой частоты, подводили ультразвуковые колебания с частотой 15...44 кГц. Такая схема обработки волок предусматривает три рабочих движения: вращение обрабатываемого изделия, низкочастотное вибрационное движение волокни вдоль оси обрабатываемого отверстия и колебательное движение инструмента с ультразвуковой частотой в направлении параллельном образующей отверстия. Совмещение низкочастотных и высокочастотных колебаний инструмента и детали при доводке волоочильного отверстия способствует интенсивному съему материала, позволяет управлять процессом формообразования поверхности, активизирует работу абразивной прослойки.

Для проведения исследований процесса ультразвуковой доводки волок была изготовлена экспериментальная установка, которая позволяла проводить сравнительные испытания при наложении на инструмент низкочастотных колебаний от 20 до 200 Гц и при наложении высокочастотных колебаний от 20 до 44 кГц, а также изменять скорость рабочих движений (вращение и возвратно-поступательное перемещение инструмента). Схема экспериментальной установки для ультразвуковой доводки волок из СТМ подробно описана в работе [4].

Важной технологической задачей, существенно влияющей на выходные параметры ультразвуковой доводки волок, особенно для малых размеров их рабочих каналов, является способ передачи ультразвуковых колебаний от преобразователя инструменту (проволоке). Так, например, при полировке волок проволокой, диаметр которой составляет 0,1...0,2 мм, возникают большие трудности, связанные с передачей колебаний инструменту, поскольку в последней возникают сложные колебания (продольные, поперечные, изгибные, крутильные и различные их комбинации). Поэтому весьма проблематично установить, где находятся узлы и пучности колебаний по длине инструмента, а следовательно, определить место расположения обрабатываемой детали (волокни).

При выполнении исследований по ультразвуковой полировке волок было опробовано несколько вариантов возбуждения колебаний в инструменте-проволоке: 1 - инструмент прижимается к боковой поверхности конца концентратора; 2 - инструмент закрепляется с помощью винта в пучности колебаний концентратора; 3 - инструмент методом пайки закрепляют в пучности колебаний концентратора.

С точки зрения технологичности преимуществом обладает способ возбуждения ультразвуковых колебаний по схеме 2, а с точки зрения наиболее полной передачи ультразвуковой энергии инструменту-проволоке является схема 3.

Эксперименты по исследованию влияния ультразвуковых колебаний на процессы полировки проводили на заготовках волок диаметром 0,1...0,8 мм из природного алмаза, синтетического алмаза СВ15Б и твердого сплава ВК. В качестве абразивного материала суспензий использовали микропорошки из природных и синтетических алмазов зернистостью в пределах 10/7... 1/0, а в качестве жидкой составляющей суспензий использовали трансформаторное масло. В зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого изделия и режима доводки изменяли процентное содержание жидкой фазы абразивной суспензии. Для притира использовали медную, латунную, вольфрамовую и стальную проволоки.

Основными технологическими характеристиками ультразвуковой доводки являются: съем обрабатываемого материала, шероховатость обработанной поверхности, точность обработки, глубина образуемого в результате доводки поверхностного слоя и остаточные деформации в нем.

Производительность и качество ультразвуковой полировки волок зависит от технологических и акустических параметров процесса: натяжения рабочего инструмента (проволоки), рабочих скоростей вращательного и возвратно-поступательного движения и их соотношения, рода и зернистости абразива, соотношения твердой и жидкой фаз абразивной суспензии, амплитуды и частоты колебаний, времени

обработки и материала притира. Рассмотрим влияние основных факторов процесса ультразвуковой полировки на величину съема материала, точность обрабатываемых отверстий и износ инструмента.

Экспериментальные исследования ультразвуковой полировки волок из синтетического алмаза СВ15Б диаметром 0,37... 42 мм притиром из меди М1 при амплитуде ультразвуковых колебаний, равной 10 мкм показали, что величина съема материала и овальность отверстия зависит от усилия натяжения инструмента и существует оптимальное по производительности значение усилия натяжения (таблица).

Влияние натяжения притира на съем материала и овальность отверстия при полировке волок

| Натяжение притира F , кг/мм ² | Съем материала Q , мкм | Овальность отверстия δ , мкм | Амплитуда ультразвука A , мкм | Время обработки t , мин |
|--|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 3 | 2 | 2,5 | 10 | 6 |
| 6 | 5 | 1,8 | 10 | 6 |
| 9 | 5,8 | 1,5 | 10 | 6 |
| 12 | 6 | 1,3 | 10 | 6 |
| 15 | 6 | 1,3 | 10 | 6 |

Анализ данных таблицы показывает, что с увеличением усилия натяжения инструмента (притира) съем материала волокни вначале резко возрастает, а затем при $F = 12... 15$ кг/мм² достигает постоянного значения, а овальность, наоборот, вначале уменьшается, а затем остается постоянной при $F = 12... 15$ кг/мм². Амплитуда колебаний и время обработки оставались постоянным. С увеличением скорости вращения волокни относительно инструмента съем материала в единицу времени несколько возрастает, а затем становится постоянным, т.е. существует оптимальная скорость вращения, при которой наблюдается максимальная производительность процесса полировки волок. Экспериментально установлено, что наиболее интенсивный съем материала происходит в начальный период обработки и по мере снятия припуска величина съема уменьшается и в установившемся режиме не зависит от времени обработки.

Таким образом, предложенная технология по вибрационной полировке волок из сверхтвердых материалов с использованием энергии низкочастотных и ультразвуковых колебаний позволяет значительно снизить усилие резания, повысить стойкость инструмента, интенсифицировать процесс механической обработки материалов, а также способствует улучшению физико-механических свойств поверхностного слоя, уменьшению его шероховатости, повышению качества и точности обрабатываемых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Машиностроение, 1968. - 365 с.
2. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. - М.: Машиностроение, 1980. - 237 с.
3. А.с. 1351755. Способ шлифования отверстий малого диаметра / Клубович В.В., Мосин А.В., Ткаченко В.П. Оpubл. 15.11.1987. // Открытия. Изобретения. 1987.
4. Артемьев В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В. Ультразвук и обработка материалов. - Мн.: Экоперспектива, 2003. - 335 с.