

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО СВЕРЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

А.М. ФИРСОВ, В.В. ЧИРИКОВ, В.Н.ХМЕЛЁВ

БИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АЛТАЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Г. БИЙСК

Современная технология механической обработки конструкционных материалов достигла больших успехов, а выпускаемые промышленностью металлорежущие станки - высокой степени совершенства и высокой производительности, что позволяет с успехом решать различные задачи, выдвигаемые бурным процессом развития техники.

Однако, развитие техники приводит в свою очередь к появлению новых материалов, механическая обработка которых традиционными способами может быть осуществлена лишь с большим трудом.

К ним относятся, прежде всего, такие материалы с высокой твердостью, как вольфрамсодержащие и титанокарбидные сплавы, алмаз, рубин, лейкосапфир, закаленные стали, магнитные сплавы из редкоземельных элементов, термодокунд и др. Обработка другой группы материалов, таких как германий, кремний, ферриты, керамика, стекло, кварц, затруднена их очень большой хрупкостью. Эти материалы не выдерживают усилий, возникающих при традиционной механической обработке.

Из традиционных способов при обработке таких материалов возможно применять только сверление алмазосодержащими инструментами.

Традиционное алмазное сверление отверстий реализуется на обычных металлорежущих станках. При этом скорость сверления не превышает 0,5...1 мм/мин, глубина сверления не превышает 1... 3 диаметров выполняемого отверстия, а износ дорогостоящего алмазного инструмента достигает 5% от глубины выполняемых отверстий.

В связи с низкой скоростью резания, большим износом рабочего инструмента и малой глубиной сверления такой способ не получил широкого распространения для обработки сверхтвердых и хрупких материалов.

Проведенные ранее в различных организациях теоретические и экспериментальные исследования, позволили установить, что процесс алмазного сверления можно существенно интенсифицировать при сообщении инструменту ультразвуковых колебаний. Было установлено, что применение ультразвука при алмазном сверлении позволяет при выполнении отверстий малого диаметра: не менее чем в 4 раза повысить производительность, в 8 - 10 раз снизить износ рабочего инструмента, в 2 - 3 раза уменьшить общую стоимость обработки, в десятки раз увеличить глубину обработки без существенной потери производительности.

Это обусловлено тем, что при воздействии УЗ колебаний, в зоне контакта алмаза с материалом, на поверхности последнего образуется зона повышенной трещиноватости - зона предразрушения. Роль УЗ колебаний заключается в интенсификации процесса хрупкого разрушения обрабатываемого материала за счет создания сетки трещин и выколов на его поверхности. Ультразвуковые колебания способствуют расклиниванию микротрещин, в десятки раз ускоряя процесс обработки. Для осуществления алмазного сверления требуется специальное оборудование, обеспечивающее колебания алмазного инструмента с заданной амплитудой и достаточно высокой частотой вращения самого инструмента.

Для практической реализации технологии алмазного ультразвукового вращения в Англии и США разработаны несколько типов станков малой мощности для обработки отверстий диаметром 5...10 мм на глубину 50...100 мм.

В нашей стране разработано несколько вариантов вращающихся ультразвуковых колебательных систем для установки и использования совместно с обычными металлорежущими станками. Однако, все колебательные системы выполнялись на основе магнитострикционных преобразователей, имеющих низкий КПД, с использованием специальных систем водяного охлаждения и токосъемников для передачи электрических колебаний на магнитострикционные преобразователи. При этом осуществлялась передача электрических колебаний, имеющих большие значения тока.

Эффективность используемого оборудования была крайне низкой, что не позволило широко распространить и использовать очень эффективный способ ультразвуковой обработки алмазным инструментом с одновременным вращением рабочего инструмента.

В связи с тем, что ультразвуковая обработка алмазным инструментом с обеспечением вращения рабочего инструмента является наиболее эффективной, возникает необходимость в создании простых, надежных и высокоэффективных малогабаритных устройств для ультразвуковой обработки, пригодных для комплектации

стандартных обрабатывающих станков, изучения процессов алмазного сверления, отработки технологии и использования в промышленности.

Для создания простых, надежных и высокоэффективных малогабаритных устройств, способных интенсифицировать процесс обработки твердых и хрупких материалов необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать, и изготовить малогабаритную высокоэффективную ультразвуковую колебательную систему на основе современных пьезокерамических элементов, не требующих принудительного охлаждения.
2. Разработать узлы, обеспечивающие вращение колебательной системы и пригодные для комплектации серийных обрабатывающих станков.
3. Разработать и изготовить устройства (токосъемники) для передачи высоких электрических напряжений на электроды вращающейся колебательной системы.
4. Разработать и изготовить рабочие алмазные инструменты.
5. Выбрать оптимальный вариант высокоэффективного генератора электрических колебаний ультразвуковой частоты с высоким КПД для использования совместно с разрабатываемым устройством.
6. Разработать и изготовить станок для сверления твердых, хрупких материалов, а также для сверления многослойных изделий, выполненных из чередующихся слоев с различными физико-механическими свойствами и исследовать функциональные возможности использования созданного устройства.
7. Исследовать технологические особенности ультразвуковой обработки созданным станком, отработать технологию и разработать методические рекомендации по промышленному использованию.

Для решения поставленных задач и практического осуществления алмазного сверления с применением ультразвуковых колебаний разработано специальное оборудование (станок), обеспечивающее колебания алмазного инструмента с заданной амплитудой и достаточно высокой частотой вращения самого инструмента.

В состав станка входят генератор электрических колебаний ультразвуковой частоты и вращающаяся ультразвуковая колебательная система.

Разработанная вращающаяся ультразвуковая колебательная система предназначена для установки и использования как совместно с обычными металлорежущими станками (сверлильными или фрезерными), так и для ручного сверления совместно с ручными электрическими дрелями малой мощности.

Высокая эффективность, малые габариты и отсутствие принудительного водяного охлаждения созданной колебательной системы достигнуты за счет разработки новой конструктивной схемы колебательной системы и использования современных пьезокерамических материалов. УЗ колебательная система выполнена в виде тела вращения из двух металлических накладок и двух пьезоэлектрических элементов, расположенных между этими накладками так, что образующая тела вращения имеет вид непрерывной кусочно-гладкой кривой, состоящей из трех участков. Первый участок - цилиндрический длиной  $l_1$ , второй - экспоненциальный длиной  $l_z$ , третий - цилиндрический длиной  $l_2$ . Пьезоэлектрические элементы расположены между экспоненциальным участком и торцом отражающей накладки. Длины участков отвечают следующим условиям:

$$\begin{aligned}l_1 &= k [ c_1/\omega - 2 h ( c_1/c + 1)], \\l_z &= \ln (N), \\l_2 &= k c_2/\omega,\end{aligned}$$

где  $c_1$ ,  $c_2$  - скорости распространения ультразвуковых колебаний в материалах накладок, (м/с),  $c$  - скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале пьезоэлемента, [м/с],  $\omega/2\pi$  - рабочая частота колебательной системы, [Гц],  $d$  - толщина пьезоэлемента, [м],  $k$  - коэффициент, выбираемый из условия обеспечения требуемого коэффициента усиления при заданном  $N$ .

Длина каждого из участков колебательной системы определяется по приведенным формулам. Изменение диаметра сечения экспоненциального переходного участка определяется уравнением

$$D_z = D e^{-\beta z}$$

где  $\beta = \ln N/l_z$  - коэффициент сужения экспоненциального участка.

Длина цилиндрического участка излучающей накладки (концентратор) на практике уменьшается на величину продольного размера рабочего инструмента (в случае выполнения его сменным).

Полученные практические формулы и рекомендации позволили создать малогабаритную (длиной 100 мм и диаметром 40 мм), высокоэффективную (коэффициент усиления УЗ колебаний не менее 10 при КПД более 70%) УЗ колебательную систему с заданными техническими характеристиками (рабочая частота 22 кГц, амплитуда УЗ колебаний не менее 15 мкм).

Непосредственная передача УЗ колебаний в обрабатываемые среды осуществляется с помощью рабочих инструментов. Для УЗ станка рабочие инструменты выполнены сменными, в виде отдельных элементов (узлов) колебательной системы и соединяется с торцевой поверхностью цилиндрического участка концентратора

посредством резьбового соединения. Наличие резьбового соединения позволяет легко и быстро установить необходимый рабочий инструмент.

Узел вращения ультразвуковой колебательной системы состоит из разборного наружного корпуса, выполненного из стали. В нем на двух подшипниках качения установлен внутренний корпус, в котором установлена ультразвуковая колебательная система. На внешней поверхности внутреннего корпуса выполнена система токопередающих колец из латуни, на нижней части наружного корпуса предусмотрена платформа для установки узла щеточного токосъемника. Токопроводящие кольца электрически соединены с электродами активных пьезоэлементов колебательной системы. В верхней части внутреннего корпуса выполнен стальной хвостовик, для крепления в патроне электрической дрели или сверлильного станка.

Предложенный и разработанный узел вращения позволил обеспечить вращение ультразвуковой колебательной системы с частотой до 3000 об/мин и передачу на электроды вращающихся активных пьезоэлектрических элементов электрических сигналов напряжением до 1000 В с частотой 22кГц.

Для создания механических колебаний ультразвуковой частоты в колебательной системе на электроды её пьезоэлектрического преобразователя подается электрическое напряжение от специально разработанного генератора электрических колебаний ультразвуковой частоты, имеющего следующие основные технические характеристики.

Потребляемая мощность, Вт	100
Коэффициент полезного действия, %	80
Рабочая частота, кГц	22
Габаритные размеры, мм	322x180x120
Вес, кг не более	5

При обработке технологии ультразвукового алмазного сверления и исследования функциональных возможностей созданного станка материалом для проведения экспериментальных исследований служило обычное натриевое стекло разных толщин (3,4,5 мм) и многослойные композиции, состоящие из двух и трех слоев стекла толщиной 6 мм, соединенных полимерной эластичной связкой, толщиной 1 мм, рабочий инструмент выполнялся в виде цилиндра диаметром 4 мм, длиной 6,2 мм. Средний размер алмазных зерен составлял 70...100мкм, процентное содержание алмаза (по объему) в материале инструмента не превышает 30%.

Проведение экспериментов на стекле обусловлено доступностью материала и тем, что параметры обработки всех других материалов нормируются относительно стекла.

Результаты ультразвукового сверления листов стекла и многослойных стеклянных композиций различной толщины алмазосодержащим рабочим инструментом представлены в таблице.

Частота вращения об/мин	Производительность сверления листов стекла различной толщины, мм/мин			Производительность сверления многослойных стеклянных конструкций, мм/мин	
	3 мм	4 мм	5 мм	двухслойная (13 мм)	трехслойных (20 мм)
0	0	0	0	0	0
300	3	2.7	2.5	1.8	1.4
1500	9	8	7.5	7.6	4.9
3000	12	12	12	11.5	7.0

Из анализа полученных результатов следует:

1. За счет сообщения рабочему инструменту ультразвуковых колебаний скорость сверления возрастает до 12 мм/мин. Среднее значение скорости сверления возрастает в 6 раз при увеличении частоты вращения от 300 до 3000 об/мин.

2. При частоте вращения рабочего инструмента 3000 об/мин скорость сверления не изменяется при увеличении глубины сверления листовых материалов.

3. За счет сообщения рабочему инструменту ультразвуковых колебаний скорость сверления возрастает до 11,5 мм/мин при сверлении двухслойной стеклянной композиции и до 7 мм/мин при сверлении трехслойной композиции. Среднее значение скорости сверления возрастает в 5...6 раз при увеличении частоты вращения от 300 до 3000 об/мин. Уменьшение скорости сверления многослойных конструкций по сравнению со скоростью сверления листов стекла обусловлено наличием вязкой полимерной связки.

Износ рабочего алмазосодержащего инструмента при сообщении ему ультразвуковых колебаний снизился до 0,5%.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности алмазного сверления и пригодности созданного оборудования для промышленного применения..