

1554529

МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

Демчук Александр Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ОБОРУДОВАНИИ С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ.

Специальности: 05.02.08 - Технология машиностроения,
05.02.11 - Методы контроля и диагностика в машиностроении.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.



МОСКВА - 1997 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
БАРЗОВ А.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ЧЕРНЯНСКИЙ П.М.

- кандидат технических наук
ГОРЕЛОВ В.А.

Ведущее предприятие - НПО "ТЕХНОМАШ"

Защита состоится "03" июня 1997 года на заседании
диссертационного Совета в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005,
Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени
Н.Э.Баумана.

из
пк
пе

должны заблаговременно
ых организаций на имя

земпляре, заверенный
адресу.

2" июня 1997 г.

1554529

 ВАСИЛЬЕВ А.С.

Подписано к печати 28.05.97.
Тир. 100 экз.

Актуальность работы. Одной из актуальных проблем технологии машиностроения является задача повышения точности изготовления деталей на операциях их механической обработки. Точность изготовления деталей зависит от множества факторов, одним из которых является износ инструмента. Вследствие этого возникает ошибка позиционирования режущей кромки относительно поверхности заготовки из-за неопределенности истинного начала их взаимодействия, то есть момента касания.

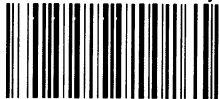
Проблема компенсации износа инструмента в настоящее время решается несколькими путями. Один из них - применение специальных механизмов подналадки, учитывающих систематическую составляющую износа инструмента. Однако в ряде случаев для обеспечения заданной точности обработки деталей гироскопической техники, сопловых вкладышей РДТТ и элементов топливной аппаратуры возникает необходимость учета и случайной составляющей износа. Поэтому часто определение момента касания инструмента о заготовку производится различными методами контроля. Однако известные методы либо не позволяют получать требуемую характеристику экономико-временных затрат, либо имеют ряд ограничений на области их применения.

Характерным примером ограничений на использование традиционных методов является обработка деталей из токонепроводящих материалов и применение пневмошпинделей, эффективность использования которых во многом зависит от определения начального момента касания.

Необходимо применение методов, основанных на анализе физических явлений, сопровождающих процесс обработки. Одним из них является метод акустической эмиссии (АЭ), основанный на регистрации и анализе упругих волн, возникающих в зоне обработки и несущих информацию о процессах, сопровождающих формообразование. К настоящему времени разработаны общие положения о сущности метода, разработана аппаратура применительно к некоторым областям использования. Однако, вопрос о контроле касания инструмента о методом АЭ отдельно не изучался.

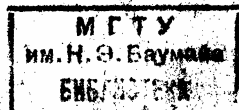
Решение данного вопроса позволяет определять касание на прецизионном оборудовании с применением в шпиндельных узлах газовой смазки и производить построение адаптивных систем.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1554529

Демчук А.В. Исследование и



Цель и задачи работы. Целью работы является: Определение момента касания инструмента о заготовку методом АЭ при механической обработке на прецизионном оборудовании с применением газовых опор.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Провести анализ распространения волн по элементам технологической системы. Выявить физические особенности прохождения волн АЭ через малый воздушный зазор. Построить физическую и математическую модели их распространения при наличии в волноводном тракте малого воздушного зазора.

2. Определить газодинамическое распределение давления в зазоре подшипника.

3. Вывести зависимости для затухания амплитуды волн АЭ при прохождении через малый воздушный зазор. Осуществить теоретическую оценку влияния параметров смазочного слоя в зазоре газового подшипника на прохождение через него сигналов АЭ, генерируемых в зоне обработки при касании инструмента с заготовкой.

4. Экспериментально подтвердить адекватность теоретических положений, описывающих прохождение волн АЭ через зазор газодинамического подшипника.

5. Провести апробацию результатов работы в производственных условиях. Сравнить метод АЭ при определении момента касания с результатами применения других методов на возможных для этого операциях механической обработки. Дать практические рекомендации по использованию метода.

Методы исследования. Аналитические исследования производились с использованием положений технологии машиностроения, термодинамики, волновой теории и механики твердого тела. Использовалась комбинация механических аналогов физических свойств взаимодействующих сред.

Для расчета газодинамического распределения давления в зазоре подшипника использовались положения законов термодинамики и газодинамической теории.

Вывод зависимости потери энергии волн АЭ при прохождении через малый воздушный зазор осуществлен на основе решения дифференциального уравнения колебательных движений расчетной ячейки и элементов математического анализа.

Экспериментальная проверка теоретических выводов проводилась на ряде модельных экспериментов в лабораторных и производственных условиях с помощью подобранного комплекса измерительной аппаратуры:

- на основе анализатора волн напряжения АВН-1, блока фильтров БФ-1 и самописца типа Н-338;
- универсального прибора, изготовленного в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Оценка точности определения касания методом АЭ производилась при снятии профилограммы на установке фирмы "TEYLOR GOBSON" и сравнении с методом "на замыкание" по показаниям прибора, изготовленного в "НИИИзмерения".

Научная новизна. Предложена модель распространения волн АЭ при наличии в волноводном тракте технологической системы воздушного зазора. Выявлены физические особенности прохождения высокочастотных волн через малый воздушный зазор, где невозможно рассматривать интегральные характеристики волн, а необходимо изучать движение частиц самой среды. Построена математическая модель процесса прохождения волн акустической эмиссии, позволяющая качественно и количественно оценить затухание сигналов АЭ при наличии в волноводном тракте воздушного зазора малой величины.

Проведен теоретический анализ влияния различных параметров зазора, диапазона рабочих частот и технологических параметров обработки на прохождение сигналов АЭ через малый воздушный зазор, и, соответственно, на возможность применения метода.

Экспериментально подтверждена возможность регистрации высокочастотных волн, прошедших через воздушный зазор на макете круглошлифовального станка с применением инструментального пневмошпинделя. Исследовано влияние технологических параметров касания на сигналы АЭ.

Показаны возможности метода АЭ при определении момента касания в сравнении с результатами применения других методов.

Автор защищает:

- физическую и математическую модели прохождения волн АЭ по элементам технологической системы при наличии в волноводном тракте малого воздушного зазора;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований прохождения акустического сигнала из зоны обработки к датчику-преобразователю через газовые подшипники шпинделя;

- результаты экспериментальных исследований влияния технологических параметров механической обработки на определение касания инструмента о заготовку в технологическом процессе механической обработки;

- рекомендации к практическому применению определения момента касания "инструмент - заготовка" методом АЭ.

Практическая ценность. Подтверждена необходимость и возможность применения метода АЭ для определения момента касания инструмента о заготовку при механической обработке в случае применения опор на газовой смазке. Построенная математическая модель процесса прохождения волн АЭ позволяет качественно и количественно оценить затухание сигналов АЭ при наличии в волноводном тракте воздушного зазора малой величины. Определено затухание полезного сигнала для зазора пневмошпинделя в реальном технологическом процессе.

Предложены конструктивно-технологические решения для возможности расширения области применения метода АЭ и возможности обнаружения сигналов акустической эмиссии в присутствии "шумов" технологической системы. Даны практические рекомендации по определению момента касания на некоторых операциях механической обработки.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные проблемы машиностроения на современном этапе" г. Владимир, 1995 г., на внутривузовской конференции, посвященной 165-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана г.Москва, 1995 г.

Производственные испытания по апробации метода подтверждены соответствующими актами "ВНИИИзмерений" (г.Москва), ГПО "Воткинский завод" (г.Воткинск) и завода "Красный Пролетарий" (г.Москва). Отмечается необходимость и перспективность применения результатов работы.

Автор считает своим долгом выразить благодарность за помощь в проведении работ начальнику отдела метрологии "НИИИзмерения" к.т.н. Кайнеру Г.Б.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 188 страницах и содержит 120 страниц машинописного текста, включая введение и основные выводы. Работа иллюстрирована 70 рисунками, содержит 4 таблицы, приложения и список литературы из 107 наименований.

В первой главе представлен обзор литературы по состоянию разработок методов определения момента касания инструмента о заготовку на операциях механической обработки.

Показана необходимость учета износа инструмента для повышения точности изготовления деталей на операциях их механической обработки.

Применение специальных механизмов подналадки позволяют получать точность обработки до 5 мкм. Однако при обработке значительного числа деталей гироскопической техники и топливной аппаратуры возникает необходимость обеспечения точности выполнения размеров в пределах 1-2 мкм. Поэтому часто находят применение различные средства контроля.

Методы прямого контроля имеют ряд недостатков: они практически неприменимы в случае наличия СОЖ, а также при обработке малых внутренних диаметров, так как процесс обработки происходит в зоне, скрытой от визуального наблюдения.

Косвенные методы, основанные на измерении и анализе термо-силовых параметров более универсальны. Однако и их применение осложняется в ряде случаев.

Определены ограничения на использование известных методов: обработка деталей из токонепроводящих материалов и применение пневмошпинделей.

Проведенный анализ традиционных методов регистрации момента касания инструмента о заготовку показал, что они либо не позволяют получать требуемую характеристику экономико-временных затрат, либо имеют ряд ограничений на области их применения.

Предполагается в случаях использования пневмошпинделей или при обработке токонепроводящих материалов применение методов, основанных на изучении физических явлений, сопровождающих процесс формообразования. Одним из них является метод АЭ, основанный на регистрации и анализе упругих волн, возникающих в зоне обработки и несущих информацию о процессах, сопровождающих формообразование: разрушение, пластическая деформация и трение.

Проведен обзор литературы по разработке общих положений о физической сущности происхождения волн АЭ, наличию аппаратуры для их обнаружения, измерения и регистрации применительно к некоторым областям. Это нашло отражение в работах Кайно Г.,

Подураева В.Н., Барзова А.А., Грешникова В.А., Дробота Ю.Б., и многих других. Метод применяется, в частности, для выбора рациональных режимов обработки, оптимизации геометрии инструмента, текущего контроля технологического процесса. Однако, вопрос о контроле касания инструмента о заготовку отдельно не изучался, что, особенно, важно в случае использования оборудования с применением пневмощпинделей.

Потребность различных отраслей производства с одной стороны, и имеющаяся в литературных источниках информация о сущности и областях применения метода АЭ с другой, позволили сформулировать и обосновать цель работы.

Во второй главе представлена методика экспериментальных исследований.

Отработка методики определения момента касания инструмента о заготовку проводилась в "НИИизмерений" в ходе предварительных экспериментов для доработки необходимого комплекта акустико-эмиссионной аппаратуры, выявления информативных параметров АЭ и диапазона рабочих частот. Рассматривалась правка абразивного круга СМ 1БК5 600х63х305 алмазным карандашом 54С на круглошлифовальном станке 3А 151. Окружная скорость шлифовального круга составляла ~30 м/с.

Волны АЭ преобразовываются в электрический сигнал контактным преобразователем, чувствительный элемент которого выполнен на основе керамики ЦТС-21 по ГОСТ 1392-68. Селекция сигнала по частоте производилась с использованием блока-фильтров БФ-1. Диапазон регистрируемых частот составил 60-850 кГц. За критерий начала касания принимался момент времени, в который сигнал амплитуды АЭ достигал определенной, наперед заданной величины.

Для съема профилограммы поверхности абразивного круга использовался пневмоиндуктивный прибор "НИИизмерения", основанный на бесконтактном способе контроля размеров.

Для испытаний по определению момента касания при наличии в волноводном тракте воздушного зазора эксперименты проводились на стенде завода "Красный Пролетарий" на базе макета шлифовального станка с газодинамическим шпинделем типа АП-100 московского завода скоростных прецизионных электроприводов. Исследования проводились при шлифовании отверстия диаметром 4,5 мм корпуса распылителя топлива абразивной головкой СМ 3.2х6.0 с длиной консоли 50 мм. Материал детали - сталь

18Х2Н4МА ГОСТ 4543-71. Частота вращения шпинделя детали варьировалась в пределах от 40 до 100 тыс. об/мин. Величина врезания шлифовального круга в заготовку оценивалась по показаниям индикатора с применением инкрементальных линеек, установленных на станке.

Для оценки погрешности метода АЭ и сравнении его с электрическим методом "на замыкание" проводились эксперименты в механической лаборатории "НИИИзмерения" на токарно-винторезном станке ИЖ-250 применительно к операции чистовой токарной обработки $D=30$ мм заготовки из стали 45 резцом ВК8. Параметры переходного сопротивления регистрировались прибором "НИИИзмерения".

Для определения точности касания была использована установка "TALY SARF 4" фирмы "TAYLOR GOBSON".

Для сопоставления результатов по определению касания методом АЭ с виброметодом, проводились сравнительные испытания на ГП "Воткинский завод" на примере операции внешнего шлифования цилиндрического стакана $D=50$ мм из стали X18H10T на станке "Studer S20" с опорами качения. Станок оснащен датчиком определения касания вибрационного типа.

Для выявления особенностей применения метода эксперименты проводились на круглошлифовальном станке фирмы "OVERBACK" с применением в шпиндельных узлах подшипников качения со смазкой "масляным туманом" на операции внутреннего шлифования отверстия диаметром 4.5 мм из стали 18Х2Н4МА.

Учет инерционности системы активного контроля осуществлялся с использованием осциллографа типа Я40-1102.

В третьей главе проведен анализ распространения волн АЭ при наличии в волноводном тракте воздушного зазора.

Необходимо было выявить основные причины уменьшения регистрируемой энергии при прохождении волн по элементам технологической системы. Регистрация волн АЭ, генерируемых в зоне обработки, производится пьезодатчиком, закрепленным на неподвижной части пневмоподшипника в непосредственной близости от зоны обработки. Определение момента касания возможно по первично прошедшей волне, поэтому эффектом отражения можно пренебречь. Показано, что по сравнению с расхождением и поглощением явление рассеяния на границах раздела сред является наиболее значимым.

Известная волновая теория распространения упругих волн в образованиях слоистого характера академика Бреховских Л.М. неадекватно описывает процесс прохождения волн АЭ через малый воздушный зазор подшипника. Коэффициенты отражения и прохождения волны зависят лишь от характеристических импедансов сред. Поэтому прохождение волны возможно лишь при условии их соизмеримости. Так на границе "металл-воздух" коэффициент прохождения составляет всего 0.002. Однако, предварительные эксперименты на пневмошпинделе показали, что в случае малых воздушных зазоров регистрируется гораздо большая часть волновой энергии.

Поэтому для выявления физических особенностей прохождения волн АЭ через малый воздушный зазор была предложена следующая модель. Рассматривалось прохождение волн с частотами 60-1000 кГц через воздушный зазор подшипника порядка нескольких микрометров. Используя известную зависимость, показано, что в подобном зазоре невозможно рассматривать интегральные характеристики волн! Необходимо изучать движение частиц самой среды в волне, а не перемещение упругой волны.

Здесь предлагается замена воздействия смазочного слоя в зазоре подшипника системой упругих элементов и демпферов, передающих возмущение от внутреннего вращающегося вала к внешней неподвижной части подшипника.

Для упрощения рассуждений была выделена единичная i -я расчетная ячейка. Полагая процесс передачи колебательных движений изотермическим, выведены зависимости для жесткости (1) и коэффициента демпфирования (2) смазочного слоя.

$$k_{1i} = \frac{p_i S_i}{h_i - \Delta h} \approx \left(\frac{ps}{h} \right)_i \quad (1)$$

где k_{1i} - жесткость смазочного слоя, Н/м;

p_i - давление в зазоре подшипника над i -й площадкой, Па;

S_i - площадь поверхности i -го элемента, M^2 ;

h_i - текущая величина зазора, м.

$$\mu_i = \mu_{1i} = \mu^* \frac{S_i}{h_m} \quad (2)$$

где μ_i - коэффициент демпфирования смазочного слоя, Н*с/м;

μ^* - вязкость газа, Н*с/ M^2 ;

h_m - средняя величина зазора, м.

Необходимо отметить, что сторона выделенного элементарного объема гораздо меньше минимальной длины волны в металле, а длина упругого элемента положена минимальной длине волны АЭ.

Жесткость модельного элемента, характеризующего упругие свойства среды неподвижной части подшипника определяется согласно закону Гука (3).

$$k_{21} = E \cdot \left(\frac{S}{L_{np}} \right)_1 = \text{const} \quad (3)$$

где k_{21} - жесткость модельного элемента, Н/м;

$L_{np.1}$ - длина упругого элемента равная минимальной длине волны в металле в рассматриваемом диапазоне частот, м;

E - модуль Юнга I-го рода, Па.

Пьезодатчик преобразует колебательные движения в электрическую энергию, причем, пропорционально квадрату амплитуды колебаний. Данное положение является основой для вывода зависимости потери энергии волн АЭ при прохождении через малый воздушный зазор (4).

$$E_1 / E_2 = (A_1 / A_2)_1^2 \quad (4)$$

где E_1 / E_2 - затухание энергии волн АЭ при прохождении через малый воздушный зазор подшипника;

A_1, A_2 - амплитуды колебательных движений поверхностей вала и внешней неподвижной части подшипника, м.

Для проведения расчетов необходимо было определить давление смазочного слоя в зазоре, которое входит в формулу жесткости (1). При проведении экспериментов нами использовался гибридный подшипник с внешним нагнетанием давления через питающее отверстие и созданием давления за счет эффекта "смазочного клина" при значительных скоростях вращения вала.

На основе допущений о поведении газа в зазоре и работ профессоров Константиnescу В.Н. и Штернлихта Б. определены основные уравнения газовой смазки и вид граничных условий.

Полученные уравнения решаются численными методами. Однако фактический расчет рабочих характеристик осложняется тем, что движение газа происходит в слое переменной толщины. Поэтому для учета влияния сжимаемости вводится безразмерный параметр H - число Гаррисона (5).

$$H = \frac{\mu_m V L}{p_0 h_m^2} \quad (5)$$

где μ_m - средняя вязкость, $H \cdot c / m^2$;

p_0 - атмосферное давление, Па;

h_m - средний зазор, м.

V - скорость движения газа, м/с; L - характерный размер, м;

Согласно данным проф. Штернлихта определены уравнения распределения давлений в зависимости от размера числа Гартсона.

В случае $H \rightarrow 0$ эффектом сжимаемости можно пренебречь, и уравнение распределения давлений:

$$p = p_0 \left[1 + \frac{6H\varepsilon}{2 + \varepsilon^2} \frac{(2 + \varepsilon \cos \theta) \sin \theta}{(1 + \varepsilon \cos \theta)^2} \right] \quad (6)$$

Уравнение давлений с учетом сжимаемости $H \rightarrow \infty$:

$$\frac{dp}{d\theta} = \frac{6\mu\omega r_1^2}{c^2(1 + \varepsilon \cos \theta)^2} \left(1 - \frac{C_1}{p^{1/\chi}(1 + \varepsilon \cos \theta)} \right) \quad (7)$$

где $c = r_1 - r_2$ - разность радиусов, м; p - давление смазки, МПа;

$p_{\max}$ - максимальное давление, МПа; χ - показатель политропы;

$\varepsilon = e/c$ - относительный эксцентриситет; θ - угловая координата, рад;

$C_1 = \frac{1/\chi}{p_{\max}}$ - постоянная интегрирования.

В результате, для расчетного случая с учетом давления подачи через питающее отверстие получено распределение давления в смазочном слое в окружном направлении и по длине подшипника. При подаче избыточного давления 0.6×10^6 Па и частоте вращения шпинделя 100 тыс. об/мин среднее давление составило 2×10^6 Па, а максимальное 4.5×10^6 Па.

Это позволило определить жесткость смазочного слоя и произвести расчеты затухания энергии волн АЗ при прохождении через зазор малой величины на основе анализа решения (8) уравнения движений расчетной ячейки.

$$y_2 = \left\{ - \frac{\left(\omega_0^2 - \omega^2 - \frac{k_1}{m_2} \right)}{\left(\omega_0^2 - \omega^2 \right)^2 + (2\beta\omega)^2} \beta \omega A_1 \left(\cos \Omega t + \frac{\Omega}{t} \sin \Omega t \right) - \right. \quad (8)$$

$$\left. - \frac{\frac{k_1}{m_2} (\omega_0^2 - \omega^2) + (2\beta\omega)^2}{\left(\omega_0^2 - \omega^2 \right)^2 + (2\beta\omega)^2} \frac{\omega}{\Omega} A_1 \sin \Omega t \right\} +$$

$$+ \frac{\left(\omega_0^2 - \omega^2 - \frac{k_1}{m_2} \right)}{\left(\omega_0^2 - \omega^2 \right)^2 + (2\beta\omega)^2} \beta \omega A_1 \cos \omega t + \frac{\frac{k_1}{m_2} (\omega_0^2 - \omega^2) + (2\beta\omega)^2}{\left(\omega_0^2 - \omega^2 \right)^2 + (2\beta\omega)^2} A_1 \sin \omega t$$

где y_2 - перемещение колебаний неподвижной принимающей части подшипника, м;

k_1 - жесткость смазочного слоя, Н/м;

m_2 - масса условно выделенного малого объема, кг;

A_1 - амплитуда колебаний излучающей поверхности, м;

$\omega_0 = (k_1 + k_2) / m_2$ - собственная частота расчетной ячейки, Гц;

μ - коэффициент демпфирования,

характеризующий вязкость газа, Н*с/м;

ω - частота возмущающего воздействия, Гц.

Оценка слагаемых решения уравнения при условии малости выделенных объемов и коэффициента демпфирования позволила выразить отношение амплитуд колебаний поверхностей и, как результат, соотношение, соответствующее потере энергии волн АЭ при прохождении через малый воздушный зазор (9).

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{E h \nu}{c p} + 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{E}{c} \cdot \frac{h}{p} \nu + 1 \right)^2 \quad (9)$$

где E_1 / E_2 - затухание энергии волн АЭ при прохождении через малый воздушный зазор подшипника;

A_1, A_2 - амплитуды колебательных движений поверхностей вращающегося вала и внешней неподвижной части подшипника, м.

E - модуль Юнга для внешней части подшипника, Па;

h - толщина зазора, м; ν - регистрируемая частота, Гц.

p - давление воздуха в зазоре подшипника, Па;

Таким образом, построенная модель учитывает влияние толщины зазора, газодинамического распределения давления, диапазона регистрируемых частот и позволяет оценить затухание полезного сигнала в реальных условиях.

В реальном технологическом процессе обороты исследуемого пневмошпинделя составляют 40-100 тыс.об/мин, а давление в смазочном слое в среднем $1.8-2.0 \times 10^6$ Па. Согласно построенной теоретической модели на частотах 60-1000 кГц амплитуда сигнала АЭ при прохождении через малый воздушный зазор подшипника затухает соответственно в 20-300 раз, что, как показала практика, обеспечивает его устойчивую регистрацию.

Четвертая глава посвящена экспериментальному определению касания инструмента о заготовку и проверке правильности теоретических положений на ряде модельных экспериментов.

Подтверждена возможность прохождения высокочастотного сигнала через воздушный зазор газовых подшипников. Доказано, что регистрируются именно волны АЭ, проходящие из зоны обработки через воздушный зазор.

Определение затухания сигнала при наличии в волноводном тракте воздушного зазора было проведено на основе модельного эксперимента, где необходимая энергия сообщалась инструментальной консоли металлическим шариком-маятником. Считалось, что энергия волн АЭ, возникающих за счет соударения, пропорциональна потенциальной энергии шарика при его отклонении и кинетической при отпуске его с определенного угла отклонения. Регистрация волн АЭ проходила в диапазоне частот 60-80 кГц. Полученный экспериментальный результат подтверждает теоретические выводы.

Аналогично подтверждено положение о меньшем затухании наиболее низких, из возможно регистрируемых частот.

В ходе экспериментальных исследований на примере операции внутреннего шлифования диаметра 4.5 мм корпуса распылителя из стали 18Х2Н4МА абразивной головкой СМ 3.2х6.0 с длиной консоли 50 мм с использованием инструментального пневмошпинделя типа АП 40-100, рассматривалось влияние некоторых технологических параметров касания "инструмент - заготовка" на величину регистрируемой амплитуды АЭ: варьировались поперечное врезание инструмента и частота вращения шпинделя. Дополнительно рассматривалась возможность регистрации касания при наличии в зоне контакта СОЖ. Сигналы

АЭ регистрировались в диапазоне частот 60-850 кГц, поперечное врезание варьировалось от 1 мкм до 10 мкм.

Установлено, что наличие СОЖ в зоне обработки не оказывает решающего влияния на возможность и точность определения контакта.

В диапазоне исследуемых частот вращения шпинделя 40-100 тыс.об/мин амплитуда АЭ, регистрируемая через воздушный зазор, при росте частоты вращения возрастает незначительно.

Наиболее значимым параметром, влияющим на амплитуду АЭ при определении касания инструмента о заготовку, является глубина поперечного врезания. Рост регистрируемой амплитуды примерно пропорционален увеличению глубины врезания, что связано с увеличением объема деформируемого и разрушаемого материала. Разброс величины сигналов АЭ составляет 10-15%.

Касание в случае абразивной обработки удается определить с точностью до 1 мкм. Виброметод при использовании пневмощпинделей не чувствителен.

Для возможности сравнения метода АЭ с вибрационным методом рассматривалась механическая обработка на станке с применением в шпиндельном узле опор качения. Рассматривалась операции внешнего шлифования цилиндрического стакана диаметром 50 мм из стали X18H9T абразивным кругом CM 1BK5 с размерами 600x63x305 на станке фирмы "STUDER". Последний снабжен вибродатчиком, установленным заводом-изготовителем. При обработке создаются волны АЭ достаточной мощности и вибрации более низких частот, регистрируемые вибродатчиком. Для метода АЭ низкочастотный сигнал был шумовым и отфильтровывался.

В ходе испытаний с различными частотами вращения шпинделя 20-50 тыс.об/мин и поперечным врезанием инструмента 0.001-0.01 мм осуществлялась регистрация амплитуды акустической эмиссии в диапазоне частот 60-850 кГц.

Установлено, что показания при определении касания, полученные методом АЭ, совпадают с показаниями, снятыми с вибродатчика на станке "STUDER" при соответствующем выделении полезного сигнала за счет фильтрации частот. Оба метода позволяют в этом случае обработки устойчиво определять касание с точностью около 5 мкм. При меньших поперечных врезаниях применение виброметода ограничено мощностью создаваемых вибраций, а метод АЭ оказывается более

чувствительным, однако это может даже приводить к некоторым затруднениям в выделении полезного сигнала. Подобная ситуация возникла при внутреннем шлифовании отверстия диаметром 4.5 мм корпуса растпылителя на станке "OVERBACK" с опорами качения. За счет неисправной подачи "масляного тумана" для смазки подшипника увеличилось трение и возникали волны АЭ "шумовой" составляющей.

Для оценки погрешности метода АЭ и его сравнения с электрическим методом рассматривалась лезвийная обработка на токарно-винторезном станке "Иж-250" с применением в шпиндельном узле опор качения. Осуществлялась чистовая токарная обработка детали диаметром 30 мм из стали 45 резцом ВК8. Касание "по замыканию" определялось прибором, разработанным и собранным в "НИИИзмерений". Точность определения касания оценивалась при снятии профилограммы на установке фирмы "TAYLOR GOBSON".

В ходе испытаний осуществлялась регистрация амплитуды АЭ в диапазоне частот 60-850 кГц и фиксировалось касание по переходному сопротивлению.

Установлено, что в случае лезвийной обработки касание методом АЭ определяется с точностью, сравнимой с шероховатостью поверхности, а метод "на замыкание" чувствителен и при меньших поперечных врезаниях.

Для оценки погрешности в определении момента касания методом АЭ, обусловленной задержкой системы контроля, проводился модельный эксперимент на примере операции токарной обработки с использованием осциллографа типа Я40-1102.

Установлено, что в этом случае задержка в определении касания инструмента о заготовку в среднем составляет 60 мсек, что незначительно при малых скоростях подвода инструмента. В случае больших скоростей подвода запаздывание необходимо учитывать и осуществлять поправку.

Применение метода АЭ для определения касания инструмента о заготовку иногда затруднено наличием "шумовой" составляющей сигнала, а величина полезного сигнала лимитируется поперечным врезанием.

С целью возможности применения метода АЭ для определения касания в случае малой величины полезного сигнала предложены конструктивно-технологические решения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Показана необходимость в определении момента касания инструмента с заготовкой на основе точностного и экономико-временного подходов. На основании критического анализа существующих методов, применяемых для определения касания при различных видах механической обработки показана необходимость и перспективность использования метода АЭ. Определена область применения и методика экспериментального изучения момента касания на основе регистрации и анализа высокочастотных волн АЭ, генерируемых в зоне контакта инструмента и детали на операциях механической обработки.

2. Проведен теоретический анализ распространения волн АЭ при наличии в волноводном тракте технологической системы воздушного зазора. Выявлены физические особенности прохождения высокочастотных волн через воздушный зазор. Предложены физическая и математическая модели процесса прохождения волн АЭ, позволяющая качественно и количественно оценить затухание сигналов АЭ при наличии в волноводном тракте воздушного зазора малой величины.

3. Проанализирована зависимость давления газа смазочного слоя от режимов работы подшипника, что дало возможность определить газодинамическое распределение давления в зазоре гибридного газового подшипника, в результате чего определено уравнение газовой смазки и показан вид граничных условий. Это позволило построить математическую модель прохождения волн высокочастотных колебаний через воздушный зазор на основе вывода и анализа решения дифференциального уравнения для элементарной ячейки. В результате чего теоретически удалось спрогнозировать влияние различных параметров зазора, диапазона рабочих частот и технологических параметров обработки на возможность прохождения сигналов АЭ через малый воздушный зазор, и, соответственно, на возможность применения метода.

4. Экспериментально подтверждена возможность регистрации высокочастотных волн, прошедших через воздушный зазор на макете круглошлифовального станка с применением инструментального пневмошпинделя. На ряде модельных экспериментов получено подтверждение теоретических представлений о влиянии параметров смазочного слоя газового

подшипника и диапазона рабочих частот на прохождение волн АЭ через малый воздушный зазор. Рассмотрено влияние технологических параметров касания на прошедшие сигналы АЭ.

5. Проведено сравнение метода АЭ с результатами применения других методов. Установлено, что в случае применения в шпиндельных узлах опор качения устойчивое определение касания инструмента о заготовку методом АЭ и виброметодом возможно при достаточном поперечном врезании инструмента и соответствующем выделении полезного сигнала за счет фильтрации частот. В случае применения газовых опор чувствителен лишь метод АЭ, который при абразивной обработке позволяет определять касание инструмента о деталь с точностью до 1 мкм. При лезвийной обработке касание определяется с точностью, сравнимой с шероховатостью поверхности, а метод "на замыкание" оказывается более чувствительным.

6. Установлено, что применение метода АЭ для определения касания инструмента о заготовку иногда затруднено наличием "шумовой" составляющей сигнала, а величина полезного сигнала лимитируется необходимой точностью поперечного врезания. В связи с этим, предложены конструктивно-технологические решения задачи обнаружения сигналов АЭ в случае малого полезного сигнала или в присутствии "шумов" технологической системы.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Демчук А.В., Марков А.В. Повышение эффективности алмазно-абразивной обработки материалов // Актуальные проблемы машиностроения на современном этапе: Тезисы докладов ВНТК. - Владимир, 1995. - С. 72-73.

2. Сгибнев А.В., Барзов А.А., Демчук А.В. Анализ распространения волн акустической эмиссии по элементам прецизионного оборудования с применением газовых опор // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1997. - № 1-3. - С. 86-88.

3. Сгибнев А.В., Барзов А.А., Демчук А.В. Определение момента касания инструмента о деталь при механической обработке методом акустической эмиссии // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1997. - № 4-6. - С. 93-95.

4. Барзов А.А., Вдовин А.А., Болотин Ю.З., Демчук А.В. Определение момента касания кристалла алмаза об ограниченный диск // Алмазы в технике и электронике: Тезисы ВНТК. - М., 1997. - С. 157.