

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ГОРБУНОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

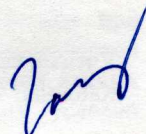
УДК 621.923.7:621.9

**НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗАНИИ ПО СИГНАЛАМ ТЕРМОЭДС И
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

Специальность 05.03.01 – Технологии и оборудование механической
и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Нижний Новгород – 2004

Работа выполнена на кафедре «Автоматизация машиностроения»
Нижегородского государственного технического университета.

Научный руководитель:

Доктор технических наук
Профессор О.В. Кретинин

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук
Профессор Кабалдин Ю.Г.

Кандидат технических наук
доцент Кудинов Е.И.

Ведущая организация:

Открытое акционерное общество
производственно-конструкторское
объединение «Теплообменник»,
г. Нижний Новгород

Защита состоится **25** июня 2004 года в **12** часов на заседании
диссертационного совета по присуждению ученой степени кандидата
технических наук при Нижегородском государственном техническом
университете по адресу: 603600, Нижний Новгород ГСП-41, ул. Минина
24, корпус 1 аудитория **1248**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского
государственного технического университета

Автореферат разослан **24** июня 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Кандидат технических наук, доцент

Устинов Б.В. Устинов

Актуальность темы

При металлообработке характер взаимодействия инструмента и заготовки оказывает существенное влияние на процессы самоорганизации гетерогенной структуры поверхностного слоя детали, что напрямую сказывается на качестве изделия.

В месте контакта физических тел образуется сложная система, обладающая присущими только ей свойствами, часто не наблюдаемыми у контртел, рассматриваемых в отдельности, поэтому разделение свойств контртел хотя и позволяет судить о свойствах их взаимодействия, но не дает адекватной количественной оценки этих свойств.

Одним из ключевых вопросов, возникающих при исследовании обработки металлов резанием, является выявление общих закономерностей в процессах контактного взаимодействия, которые могли бы быть использованы для разработки методов и средств количественной оценки интенсивности изнашивания режущего инструмента, определения обрабатываемости материалов, разработки и выбора оптимального инструментального материала, технологических сред, назначения области рациональной эксплуатации инструмента, оптимизации технологии изготовления, а также задач, связанных с контролем качества серийно выпускаемой продукции и оценкой правильности ее эксплуатации.

Несмотря на большое число существующих на сегодняшний день методик, актуальность проблемы в целом сохраняется, так как проведение классических испытаний на изнашивание сопряжено со значительными затратами трудовых и материальных ресурсов, а имеющиеся методики ускоренных испытаний дают значительное рассеяние результатов. Недостаточно точными оказываются также расчетные методы оценки и прогнозирования и методы физического моделирования, поскольку они основываются на рабочем предположении о постоянстве свойств взаимодействующих контртел.

В связи с вышесказанным, представляется важным учет микросоebenностей поверхностного слоя взаимодействующих контртел системы инструмент – деталь в целом в процессе динамического взаимодействия, что позволяет более оперативно оценить характер данного взаимодействия и свойства взаимодействующих тел в отдельности.

Цель работы

Целью проведения данной работы является повышение чувствительности оценки характера контактного взаимодействия при резании на основе сигналов естественной термоЭДС и акустической эмиссии за счет применения нейросетевых алгоритмов обработки данных при экспрессных испытаниях вариантов технологических условий обработки резанием

Методы и средства исследования

Теоретические исследования выполнены с применением теории резания, теории автоматического управления, методов математической статистики, методов кластерного анализа, нейросетевого моделирования и теории нечетких множеств.

Экспериментальные исследования проведены на действующем технологическом оборудовании в лаборатории кафедры «Автоматизация машиностроения». Регистрация и обработка результатов исследований выполнялась на аппаратной платформе фирмы National Instruments.

Научная новизна

1. Установлен новый информативный признак в процедуре обработки сигналов термоЭДС и акустической эмиссии, заключающийся в чередовании комбинаций откликов отдельных актов контактного взаимодействия инструмента и детали при резании, что повысило чувствительность обнаружения пространственных границ классов контактного взаимодействия.
2. Показано, что применение методов нейросетевого моделирования, по сравнению с методами кластерного анализа, позволяет учесть новый информативный признак для получения более точных границ классов контактного взаимодействия.
3. Сформулирован обобщенный критерий пространственного затухания проявления наследственности в естественной неоднородности свойств материала.

Практическая ценность работы

1. Разработана автоматизированная методика регистрации полей сигналов акустической и электрической природы с частотой дискретизации до 5 МГц.
2. Создан стенд на базе трехкоординатного вертикально-фрезерного станка с ЧПУ KOZY5, позволяющий проводить ускоренные испытания по определению обрабатываемости материалов, выбору оптимального инструментального материала, подбору технологических сред.
3. Разработана методика и программное обеспечение для комплексной автоматической обработки зарегистрированных сигналов на базе пакета Matlab 6.5.
4. Разработано программное обеспечение для автоматического управления экспериментом на базе программного комплекса LabView 7.0 фирмы National Instruments.

Реализация работы

Результаты работы внедрены в лабораторный практикум на кафедре «Автоматизация машиностроения».

Работа проводилась в рамках целевой федеральной программы «Интеграции» за 1999 - 2002 годы.

Планируется внедрение результатов исследования на «ВАЗ» и ОКБМ

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы и результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях:

1. 13th International Colloquium Tribology Stuttgart / Ostfildern, Germany Lubricants, Materials, and Lubrication Engineering 2002
2. 4th International conference on tribology June 12-14 BalkanTrib 2002
3. IV международный конгресс «Конструкторско-технологическая информатика 2000» 4 октября 2000 Московский Государственный Технологический Университет «Станкин»
4. Международная научная конференция «Синергетика 2000. Самоорганизующиеся процессы в системах и технологиях» Материалы международной научной конференции посвященной 45- летию Комсомольский на Амуре Государственный Технический Университет
5. Международная научно-техническая конференция «Испытания Материалов и Конструкций», посвященная 100-летию профессора Волского М.И.. 2000

Диссертационная работа обсуждена на совместном заседании кафедр «Компьютерное проектирование металлообрабатывающих и инструментальных систем» и «Автоматизация машиностроения» в апреле 2004 г.

Публикации

По материалам исследований опубликовано 11 печатных работ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов по работе, списка литературы и приложений.

Содержит 120 страниц машинописного текста, 40 рисунков, 5 таблиц, 109 наименований литературы и 30 страниц приложений.

Основное содержание работы

Во введении

Отмечается актуальность содержания работы, научная и практическая ценность, положения, выносимые на защиту.

В первой главе

Приводится обзор литературы, рассматриваются методы оценки контактного взаимодействия инструмента и детали, информативные составляющие, используемые при ускоренной оценке контактного взаимодействия, методы анализа сигналов. Приводится анализ состояния вопроса, цели и задачи исследования.

Для описания процесса взаимодействия на более тонком уровне используется термофлуктуационная теория разрушения, которая основывается на учете теплового движения атомов в твердом теле и статистике разрушенных тепловыми флуктуациями межатомных связей, предложенной научной школой академика С.Н. Журкова.

Термофлуктуационный механизм разрушения основывается на дилатонной модели прочности твердого тела. В соответствии с этой теорией дилатон рассматривается как короткоживущий микродинамический флуктуационный дефект с линейным размером λ и длительностью жизни dt , внутри которого межатомные связи растянуты на величину $\epsilon \gg \epsilon_{ср}$. Взаимодействуя с окружающей средой, дилатон благодаря пониженной плотности оказываются ловушками для фотонов и аккумулируют энергию из окружающей среды. Это приводит к разогреву и тепловому расширению дилатонов до критической величины, их распаду и возникновению в твердом теле микропустот в соответствии с кинетическим уравнением прочности:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{U_0 + \varphi \cdot \sigma}{k \cdot T}} \quad (1)$$

$\tau_0 = 10^{-12} - 10^{-14}$ с. – период тепловых атомных колебаний

τ - долговечность

U_0 - энергия межатомных связей

φ - активационный объем

σ - действующее напряжение

k - постоянная Больцмана

T - температура

Процессы, протекающие в ходе каждого единичного взаимодействия, одновременно, но по-разному отображаются в возникающих сигналах термоЭДС и акустической эмиссии: импульсы механических напряжений генерируют сигналы акустической эмиссии, тепловые вспышки, которые сопровождают пластическую деформацию - сигналы термоЭДС.

Во второй главе

Дается описание измерительного стенда, а также измерительной аппаратуры.

Для проведения исследований было разработано две установки, реализующие различные схемы контакта: установка поступательного типа и установка на базе вертикально-фрезерного станка с ЧПУ KOZY5.

Установка поступательного типа (рис.1) разрабатывалась для отработки методик проведения эксперимента и настройки измерительного тракта, так как в данном случае легче осуществить сопоставление измеренных сигналов термоЭДС и акустической эмиссии с конкретным участком поверхности детали.

В установке поступательного типа для исследования свободного резания (строгание) контакт осуществлялся между индентором в виде твердосплавной пластинки и плоской деталью. Схема контакта в установке точка - плоскость.

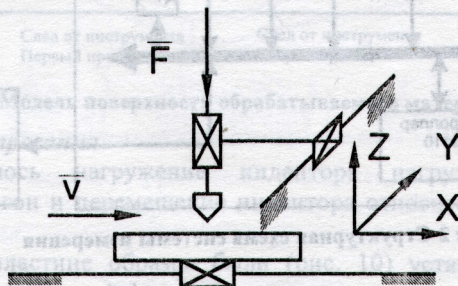


Рис 1 Структурно-кинематическая схема испытательного стенда

Исследования процесса фрезерования (осложненное резание) проводились на учебном настольном трехкоординатном вертикально-фрезерном станке с ЧПУ KOZY5.

Для регистрации сигналов естественной термоЭДС и акустической эмиссии, а также для синхронизации этих сигналов с оборотами станка был разработан узел, позволяющий синхронно регистрировать следующие сигналы:

- сигнал естественной термоЭДС,
- сигнал акустической эмиссии,
- угол поворота фрезы,

Измерительная часть

Сигнал термоЭДС, снимаемый с естественной термопары инструмент - деталь усиливается первичным усилителем термоЭДС и передается на промежуточный усилитель ПУ (рис. 2), смонтированный в непосредственной близости к месту генерации сигнала для уменьшения наводимых на измерительный тракт помех. Далее сигнал подается на усилитель У1 и устройство коммутации BNC 2110. В качестве регистрирующей аппаратуры использовалось оборудование фирмы National Instruments.

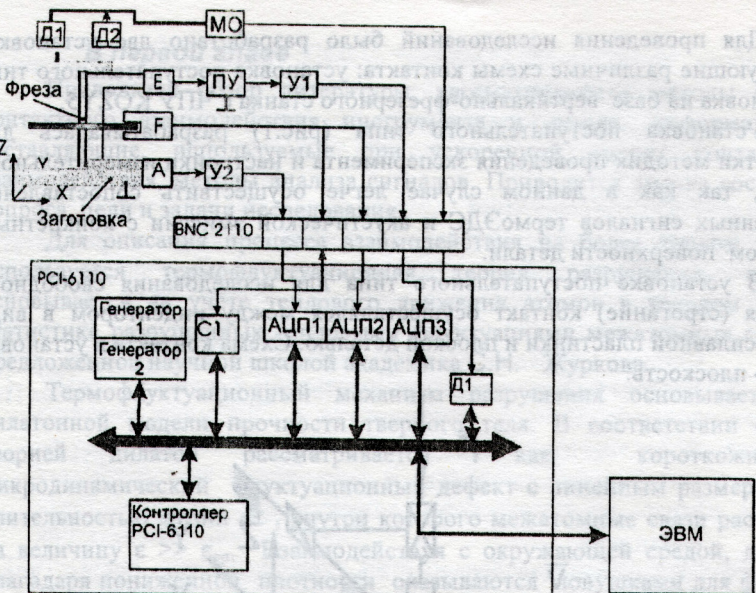


Рис 2 Структурная схема системы измерения

В третьей главе

Приводятся методики экспериментов, описываются методики метрологической поверки испытательных стенов.

Основным методологическим приемом для выделения в сигналах акустической эмиссии и термоЭДС участков стационарности, соответствующих участкам однородности характера контактного взаимодействия является проведение смежных срезов, как показано на модели (рис.3).

Поверхность обрабатываемой заготовки неоднородна, а состоит из микроучастков однородности. В процессе перемещение индентора или фрезы по поверхности заготовки происходит взаимодействие его с участками с различными свойствами, что сопровождается генерацией сигналов термоЭДС и акустической эмиссии.

При проведении смежных трасс на небольшом расстоянии друг от друга можно предположить, что индентор будет пересекать если не те же участки однородности, то близлежащие участки со схожими свойствами и корреляция сигналов термоЭДС и акустической эмиссии на ближайших трассах будет выше, чем на далеко отстоящих трассах.

Используя эту особенность можно проводить сравнение сигналов термоЭДС и акустической эмиссии на сопоставимых микроучастках поверхности, таким образом мы ликвидируем влияние на результат оценки характера взаимодействия отдельных естественных неоднородностей поверхностного слоя.

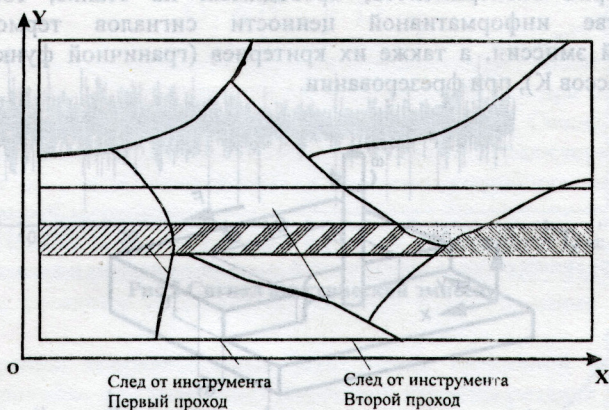


Рис 3 Модель поверхности обрабатываемого материала

В случае строгания

Производилось нагружение индентора нагрузкой F , затем производился разгон и перемещение индентора относительно образца со скоростью V .

На стальной пластине образца (рис. 10) установлены медные включения цилиндрической формы, после чего поверхность шлифовалась. В результате была получена поверхность с различными свойствами.

Заготовка закреплялась на подвижных салазках и вводилась в контакт с индентором. Нормальная нагрузка в контакте 50 Н. Перемещение индентора производилось вдоль оси X , при этом фиксировался момент начала и конца перемещения. Длина пути, на котором регистрировался сигнал термоЭДС и акустической эмиссии составляет вдоль оси X 28 мм.

После проведения трассы индентор переводился на следующую трассу вдоль оси Y . Расстояние между трассами 0,25 мм. Диапазон изменения координаты Y от 0 до 10 мм. На рис. 13 представлена поверхность образца со следами от трасс.

Снимаемые сигналы в дальнейшем сопоставлялись с конкретным участком на поверхности образца. Погрешность сопоставления сигналов на поверхности образца составляет не более 100 мкм при длине зачетной трассы 60 мм.

В случае резания

После предварительной обработки проводилось срезание слоя материала вдоль оси X .

В процессе экспериментов подача F менялась в диапазоне от 0,1 до 1 мм/мин, скорость вращения фрезы от 4000 до 15000 об/мин, глубина срезаемого слоя t от 0,1 до 0,5 мм, толщина среза вдоль оси Y и расстояние между трассами 0,05-0,5 мм.

Цель серии экспериментов, проводимых на станке, состояла в доказательстве информативной ценности сигналов термоЭДС и акустической эмиссии, а также их критериев (граничной функции G и функции классов K), при фрезеровании.

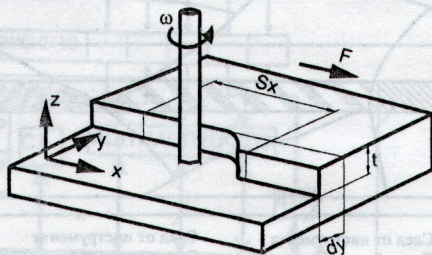


Рис 4 Схема эксперимента на фрезерном станке

На алюминиевой заготовке была выфрезерована плоская площадка размером 30x10 мм. Режимы резания подбирались исходя из требования к максимальной чистоте результирующей поверхности. Материал фрезы – быстрорежущая сталь.

Далее проводилось срезание зачетной трассы, при этом фреза перемещалась вдоль оси X на расстояние $S_x=3$ мм. После среза одной зачетной трассы инструмент возвращался в исходное положение и переходил на следующую трассу, параллельную первой.

В процессе резания регистрировались следующие данные- угол поворота фрезы, сигнал естественной термоЭДС, сигнал акустической эмиссии

В четвертой главе

Приводятся методики автоматической обработки результатов экспериментов.

В процессе обработки из поля сигналов на поверхности заготовки планируется получить поле свойств классов контактного взаимодействия при резании. Данная задача решается в три этапа: фильтрация сигнала, выделение участков со схожим типом контактного взаимодействия (по энергетическим характеристикам сигналов термоЭДС и акустической эмиссии), классификация участков со схожим типом взаимодействия. В качестве аппарата использовалось программное обеспечение LabView 7.0 и MatLab 6.0

В результате серии экспериментов были получены сигналы естественной термоЭДС и акустической эмиссии, представляющие случайные функции от времени.

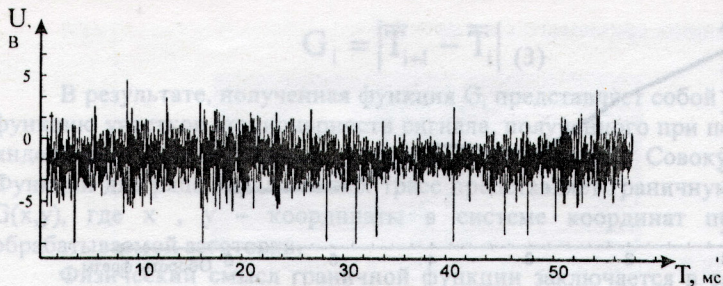


Рис 5 Сигнал акустической эмиссии

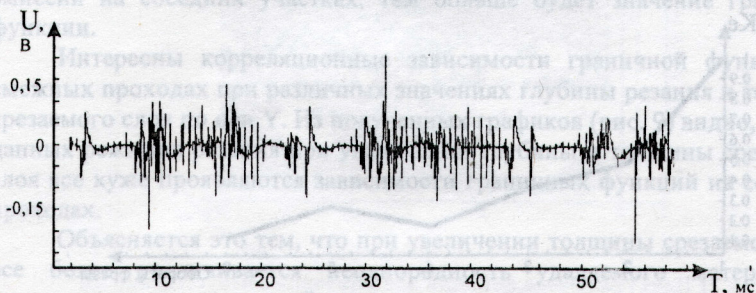


Рис 6 Сигнал термоЭДС

При проведении исследования сигналов основной акцент делается на гипотезу о том, что сходные типы контактного взаимодействия при резании будут давать сигнал термоЭДС и акустическая эмиссия, формы спектров мощности которых будут в той или иной степени подобны друг другу. Основывается данное предположение на работах, проведенных в НГТУ О.В. Кретиным, А.Р. Кварталовым, А.Н. Лахониным, С.А. Кудрявцевым и рядом других исследователей.

В приведенных ниже графиках показано изменение значения коэффициента корреляции сигналов термоЭДС и акустической эмиссии на первом и последующем оборотах фрезы. Из графиков видно, что сигнал на каждом последующем обороте становится все менее похож на сигнал первого оборота фрезы. Связано это с тем, что с удалением от первоначально места взаимодействия с заготовкой все более меняется состав обрабатываемого материала и характер взаимодействия в целом.

Если попытаться построить корреляционные зависимости для параллельных проходов, то аналогичной ярко выраженной зависимости мы не получим вследствие информационной зашумленности сигналов. Для сравнения соседних проходом применяется граничная функция сигналов.

2. толщина срезаемого слоя $\Delta y = 0,7$
3. толщина срезаемого слоя $\Delta y = 0,3$

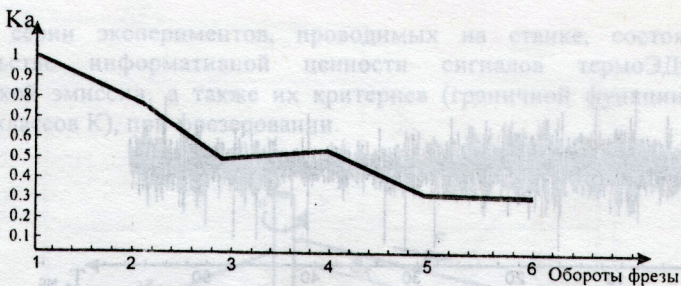


Рис 7 Корреляция сигнала акустической эмиссии на первом и последующем оборотах фрезы

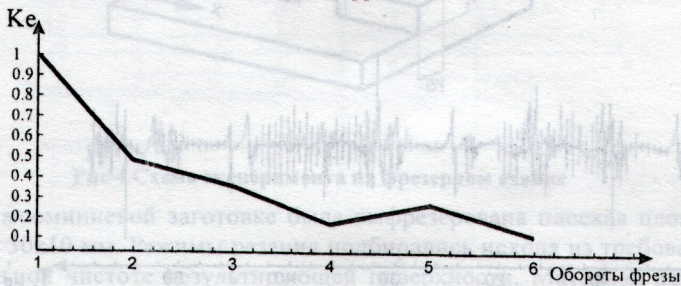


Рис 8 Корреляция сигнала термоЭДС на первом и последующих оборотах фрезы

По предположению, сигналы термоЭДС и акустическая эмиссия являются нестационарными, но состоящими из отдельных микро участков стационарности на уровне рассмотрения от десятков до сотен микросекунд. Для нахождения подобных интервалов необходима обработка сигналов с помощью дифференцирующей функции выделения границ (граничного функционала). В качестве разделяющего использован критерий относительного изменения формы спектра мощности сигнала.

В процессе обработки сигналов выбирается во временной области апертура (окно), в пределах которой рассчитывается плотность спектра мощности сигнала.

Для формализации вычислений спектр мощности каждого окна представляется в качестве многомерного вектора T_i , полученного разбиением в частотной области спектра мощности на участки одинаковой ширины (нижний индекс указывает номер вектора, описывающего спектр отдельного i -го временного интервала, верхний – номер вектора из базиса многомерного пространства признаков). Каждая координата вектора T_i соответствует среднему значению мощности сигнала на соответствующем участке спектра.

$$T_i = \{T_i^1, T_i^2, \dots, T_i^k, \dots, T_i^n\}, \quad (2)$$

Где n -размерность пространства признаков в частотной области.

Граничная функция находится как векторная разность векторов T_i и T_{i+1} двух соседних участков.

$$G_i = \left| \overline{T}_{i+1} - \overline{T}_i \right| \quad (3)$$

В результате, полученная функция G_i представляет собой граничную функцию участков стационарности сигнала, полученного при пересечении индентором неоднородных участков поверхности. Совокупность G Функций для ряда параллельных трасс представляет граничную функцию $G(x,y)$, где x, y – координаты в системе координат поверхности обрабатываемой заготовки.

Физический смысл граничной функции заключается в следующем: чем сильнее отличается форма спектра сигналов термоЭДС и акустической эмиссии на соседних участках, тем больше будет значение граничной функции.

Интересны корреляционные зависимости граничной функции на смежных проходах при различных значениях глубины резания и толщины срезаемого слоя по оси Y . Из полученных графиков (рис. 9) видно, что для данных режимов резания при увеличении глубины и толщины срезаемого слоя все хуже проявляются зависимости граничных функций на соседних проходах.

Объясняется это тем, что при увеличении толщины срезаемого слоя все более увеличивается неоднородность удаляемого материала и происходит усреднение свойств и характера контактного взаимодействия.

В поле граничной функции $G(x,y)$ (рис. 11) отразились не только включения инородного материала (рис. 10), но и в качестве небольших белых пятен участки естественной неоднородности на поверхности стальной пластины.

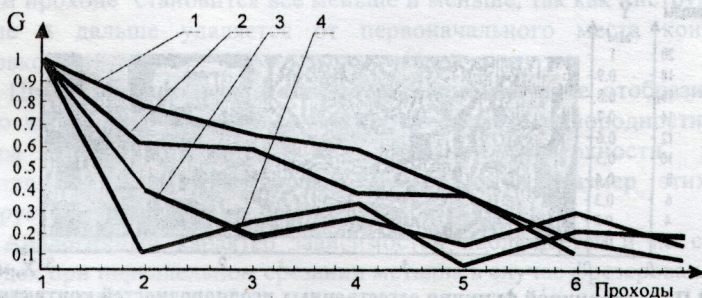


Рис 9 Корреляция граничной функции на первом и последующих проходах для различных значений толщины срезаемого слоя по оси Y

На графике показаны функции корреляции граничной функции на первом проходе и последующих:

1. толщина срезаемого слоя $dy = 0.1$
2. толщина срезаемого слоя $dy = 0.2$
3. толщина срезаемого слоя $dy = 0.3$

4. толщина срезаемого слоя $dy = 0.5$

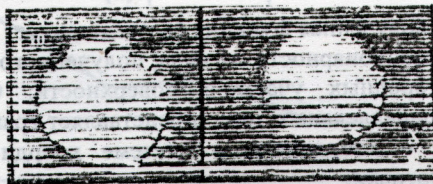


Рис 10 Искусственные неоднородности на металлическом образце

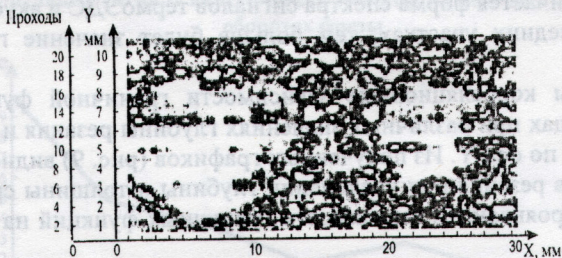


Рис 11 Поле граничной функции для заготовки с искусственными неоднородностями

Эксперимент на фрезерном станке является более тонким, но и тут видно, что при каждом последующем проходе вид граничной функции подобен функции на предыдущем проходе. Проявляется это в виде границ участков стационарности характера взаимодействия, вытянутых на несколько проходов.

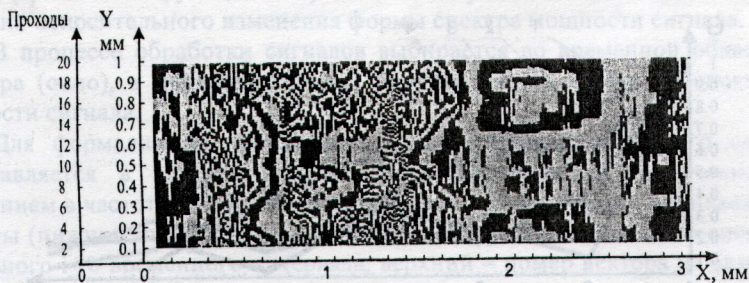


Рис 12 Поле граничной функции естественных неоднородностей контактного взаимодействия, проявляющегося при фрезеровании

В качестве критерия соответствия граничной функции неоднородностям характера контактного взаимодействия при резании в соответствии с основным методологическим приемом, принятом в исследовании является корреляция сигналов и граничной функции на смежных проходах инструмента.

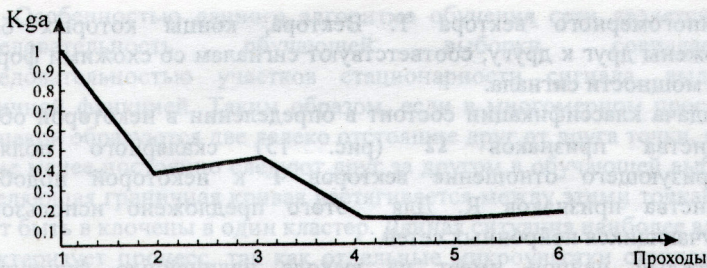


Рис 13 Корреляция G функций для сигнала акустической эмиссии при фрезеровании на соседних проходах

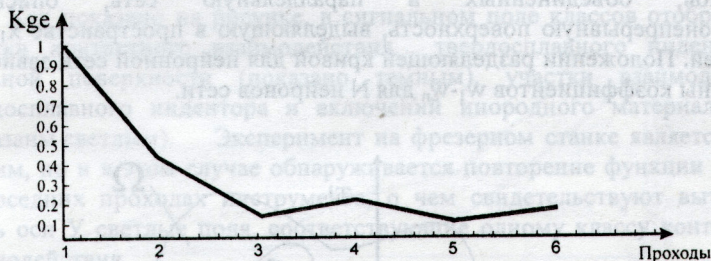


Рис 14 Корреляция G функции для сигнала E при фрезеровании на соседних проходах

Из приведенных графиков видно, что корреляционная зависимость носит убывающий характер, то есть корреляция граничной функции на каждом последующем проходе инструмента с граничной функцией на первом проходе становится все меньше и меньше, так как инструмент все дальше и дальше удаляется от первоначального места контакта с заготовкой.

Примечательно также то, что в граничном поле отобразились не только включения меди, но и некоторые области однородности формы спектра сигнала термоЭДС на стальной поверхности, которые представлены в виде небольших белых пятен. Размер этих пятен варьируется в диапазоне от 0.25 до 2мм.

Аналогичный характер зависимостей наблюдается и на смежных проходах при параллельном срезании металла в случае фрезерования.

Классификация

След от индентора включает в себя участки различного типа контактного взаимодействия, которые выделяются граничной функцией сигнала. Для классификации этих участков используется геометрическая модель представления участков однородности (рис. 15).

В пределах выделенного граничной функцией во временной области участка стационарности находится спектр мощности сигнала. Далее, выше описанным образом находится представление формы спектра мощности в

виде многомерного вектора T . Вектора, концы которых близко расположены друг к другу, соответствуют сигналам со схожими формами спектра мощности сигнала.

Задача классификации состоит в определении в некоторой области пространства признаков Ω (рис. 15) скалярного поля Y , характеризующего отношение векторов T к некоторой подобласти пространства признаков R . Для этого предложено использование самообучающихся нейронных сетей.

Каждый нейрон имеет на выходе нелинейную функцию от средневзвешенной суммы его входных значений, то есть нейрон разделяет n -мерное пространство признаков Ω на два подпространства, а положение разделяющей кривой определяются коэффициентами w_1-w_n . Совокупность нейронов, объединенных в параллельную сеть, описывают кусочнонепрерывную поверхность, выделяющую в пространстве x_1-x_n 2^N областей. Положению разделяющей кривой для нейронной сети зависит от величины коэффициентов w_1-w_n для N нейронов сети.

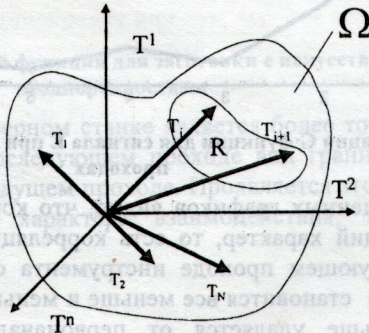


Рис 15 Представление классов однородности характера взаимодействия в многомерном пространстве признаков

Основу классификатора, используемого для анализа процесса фрезерной обработки, составляет однослойная полносвязная нейронная сеть с алгоритмом обучения Кохонена. Процесс подстройки весовых коэффициентов носит итерационный характер и выглядит следующим образом: на вход сети подается вектор T_i из последовательности участков однородности сигнала, выделенных граничной функцией G , затем производится подстройка весовых коэффициентов у нейрона, значения весовых коэффициентов которого наилучшим образом подходит на входное значение T_i . Далее на вход сети подается следующий образ T_{i+1} из последовательности обучения. После просмотра сетью всей обучающей выборки цикл повторяется заново, и так до тех пор, пока состояние весовых коэффициентов нейронов сети не застabilизируется с заданной погрешностью.

Особенностью данного алгоритма обучения сети является то, что последовательность обучающей выборки совпадает с последовательностью участков стационарности сигнала, выделенных граничной функцией. Таким образом, если в многомерном пространстве признаков образуются две далеко отстоящие друг от друга точки, которые, тем не менее постоянно следуют друг за другом в обучающей выборке, то разделяющая граничная кривая растягивается между этими точками и они могут быть включены в один кластер. Данная ситуация наиболее адекватно характеризует процесс, так как отдельные микроучастки стационарности сигналов могут иметь один источник и представлять переходные процессы, которые, будучи разбиты на составляющие, разносятся на разные классы в случае классификации методом классического кластерного анализа.

Как показано на рисунке, в сигнальном поле классов отобразились участки контактного взаимодействия твердосплавного индентора и стальной поверхности (показано темным), участки взаимодействия твердосплавного индентора и включений инородного материала меди (показаны светлым). Эксперимент на фрезерном станке является более тонким, но и в этом случае обнаруживается повторение функции классов на соседних проходах инструмента, о чем свидетельствуют вытянутые вдоль оси Y светлые поля, соответствующие одному классу контактного взаимодействия.

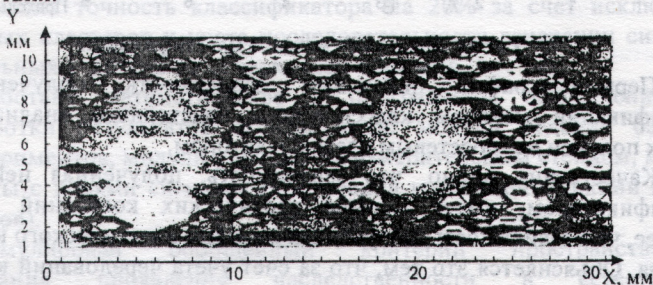


Рис 16 Поле классов искусственных неоднородностей

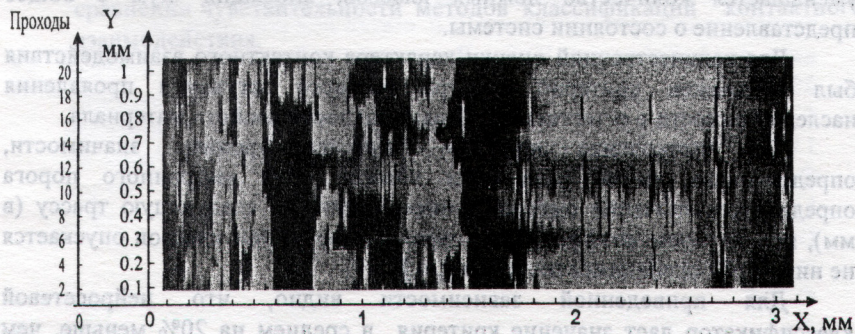


Рис 17 Поле классов естественных неоднородностей контактного взаимодействия при фрезеровании

Количественная сравнительная оценка методов классификации

Для сравнительной оценки методов классификации характера контактного взаимодействия использовалась функция классов K .

При обработке измеренных данных с помощью нейросетевого классификатора был получен набор функций классов контактного взаимодействия инструмента и заготовки, полученных при перемещении фрезы вдоль оси X . То есть для каждого прохода была полученная отдельная функция классов.

Аналогично граничной функции были построены функции корреляции классов на соседних проходах. На графике (рис. 18) представлены зависимости коэффициента корреляции функции классов при фрезеровании на первом и последующих проходах фрезы.

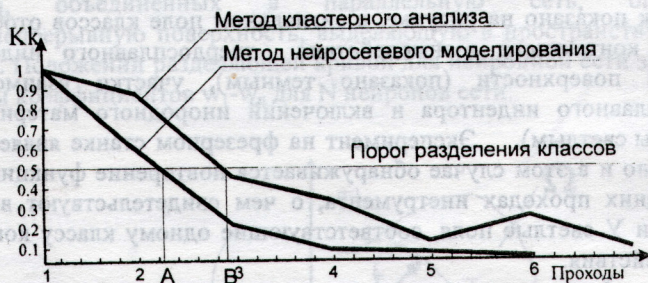


Рис 18 Сравнений методов классификации

Первый график показывает зависимость, полученную при классификации методом классического кластерного анализа. Второй график получен нейросетевым классификатором.

Качественно видно, что зависимость, полученная нейросетевым классификатором, имеет меньше хаотических колебаний и убывает быстрее, чем зависимость, полученная методом классического кластерного анализа. Объясняется это тем, что за счет учета чередований комбинаций откликов контактного взаимодействия как информативного параметра уменьшается количество ложных классов, вносящих шум в общее представление о состоянии системы.

Для количественной оценки характера контактного взаимодействия был предложен критерий пространственного затухания проявления наследственности в естественной неоднородности свойств материала.

Для вычисления критерия задаются уровнем значимости, определяющим порог разделения классов. Для выбранного порога определяется значение смещения инструмента на следующую трассу (в мм), при котором коэффициент корреляции функции классов опускается не ниже уровня значимости; точки A и B .

Для приведенной зависимости видно, что нейросетевой классификатор дает значение критерия в среднем на 20% меньше, чем

кластерный классификатор. Это означает, что при выделении классов контактного взаимодействия, границы классов, полученные нейросетевым классификатором, будут более точными.

В приложении

Приведены алгоритмы и программы для управления измерительным стендом и обработки результатов экспериментов.

Основные результаты и выводы

1. Разработана методика и создана автоматизированная система совместной регистрации сигналов термоЭДС и акустической эмиссии при фрезерной обработке.
2. Разработана методика калибровки измерительной системы
3. Предложена методология параллельных срезов как основной методологический прием для оценки эффективности классификатора характера контактного взаимодействия.
4. Разработаны методики выделения классов контактного взаимодействия при обработке резанием (на примере фрезерной) с применением нейросетевого классификатора.
5. Показана эффективность применения методики в сравнении с методами кластерного анализа.
6. Повышена точность классификатора на 20% за счет исключения ложных кластеров и учета последовательности генерации сигналов отдельных участков на поверхности образцов.
7. Разработано математическое и программное обеспечение для обработки результатов эксперимента: модули ведения баз дан экспериментов, модули управления измерительным стендом, модули работы с полями сигналов (построения граничной функции и поля классов).
8. Сформулирован обобщенный критерий пространственного затухания проявления наследственности в естественной неоднородности свойств материала как количественная оценка при сравнении чувствительности методов классификации контактного взаимодействия.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах

- 1 Кретинин О.В., Горбунов С.С. Мониторинг контактных процессов в тяжело нагруженных парах трения через сигналы термоэлектрической и акустической природы. // «Конструкторско-технологическая информатика 2000»: IV международный конгресс в Московском государственном технологическом университете «Станкин». - М, 2000
С. 125
5 с.
- 2 Кретинин О.В., Горбунов С.С. Использование нейронных сетей для исследования отображения неоднородности свойств поверхностного слоя пар трения в сигналах термоэлектрической и акустической природы. // «Синергетика 2000. Самоорганизующиеся процессы в системах и технологиях»: Международная научная конференция в Комсомольском на амуре государственном техническом университете. - Комсомольск-На-Амуре, 2000.
С. 334
4 с.
- 3 Кретинин О.В., Горбунов С.С. Мониторинг контактных процессов в тяжело нагруженных парах трения через сигналы термоэлектрической и акустической природы.// М. «Стин» - 2001
С. 40.
6 с.
- 4 О.В. Кретинин, С.С. Горбунов. Мониторинг Контактных процессов в тяжело нагруженных парах трения через сигналы термоэлектрической и акустической природы. // Нелинейная динамика, фракталы и нейронные сети в управлении технологическими системами: Сб. статей под ред. докт. техн. наук, проф. Кабалдина Ю.Г. – Владивосток: Дальнаука, 2001.-С. 205.
5 с.
- 5 13th International Colloquium Tribology Stuttgart / Ostfildern, Germany
Lubricants, Materials, and Lubrication Engineering
O.V. Crietinin, S.S. Gorbunov , J. Pfeiffer the NNSU
Tribotesting with user neural Networks 2002
С. 259
7 с.
- 6 4th International conference on tribology june 12-14

- 7 Кретинин О.В. Горбунов С.С. Экспрессный метод испытаний трибологических свойств пар трения. // Нелинейная динамика и прикладная синергетика.: Материалы международной научной конференции 21-27 сентября 2002 года. / Ред. Кол.: Ю.Г. Кабалдин (отв.ред) и др. - Комсомольск на Амуре: ГОУ ВПО «Комсомольский на амуре гос. тех. ун-т. 2003
289 с.
7 с
- 8 Кретинин О.В. , Мотова Е.А. , Горбунов С.С. Механизм коррозионно-механического изнашивания. // Эффект безызносности и триботехнологии. Международный научно-технический журнал. – Н. Новгород, 2003
С. 67
6 с.
- 9 Возможности повышения надежности ответственных пар трения за счет учета неоднородности поверхностных свойств // Второй научно-технической конференция, посвященная 15-летию Нф ИМАШ РАН: Проблемы машиноведения.- Н. Новгород, 2001
С. 10
- 10 Кретинин О.В. , Кудрявцев С.А., Мотова Е.А. , Горбунов С.С. Методика диагностики контактных процессов при обработке на фрезерных станках с ЧПУ. // Эффект безызносности и триботехнологии. Международный научно-технический журнал – Н. Новгород, 2003
С. 106
5 с.
- 11 Кретинин О.В., Горбунов С.С. Экспресс метод диагностики типа контактного взаимодействия на основе нейросетевого моделирования.// Будущее технической науки Нижегородского региона: Региональный молодежный научно-технический форум .- Н. Новгород, 2002
С. 195

- 1 Кретьянин О.В., Горбунов С.С. Мониторинг контактных процессов в тяжёлых нагруженных парах трения через термоэлектрический эффект // Вестник Нижегородского государственного технического университета им. Р.М. Михалкина. 2003. № 1. С. 282-285.
- 2 Кретьянин О.В., Горбунов С.С. Исследование влияния температуры на коэффициент трения в парах трения // Вестник Нижегородского государственного технического университета им. Р.М. Михалкина. 2003. № 1. С. 125-128.
- 3 Кретьянин О.В., Мотова Е.А., Горбунов С.С. Механика и акустика вращающихся тел // Вестник Нижегородского государственного технического университета им. Р.М. Михалкина. 2003. № 1. С. 334-337.
- 4 Кретьянин О.В., Мотова Е.А., Горбунов С.С. Механика и акустика вращающихся тел // Вестник Нижегородского государственного технического университета им. Р.М. Михалкина. 2003. № 1. С. 334-337.
- 5 Кретьянин О.В., Мотова Е.А., Горбунов С.С. Механика и акустика вращающихся тел // Вестник Нижегородского государственного технического университета им. Р.М. Михалкина. 2003. № 1. С. 334-337.

Подписано в печать 18.05.04. Формат 60 × 84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 343.

Нижегородский государственный технический университет.
Типография НГТУ. 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.