

ФГБОУ ВО

"Донской государственный технический университет" (ДГТУ)

344000, ЮФО, Ростовская обл.,

г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Телефон: (863) 273-85-25

E-mail: reception@donstu.ru

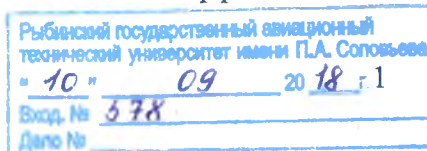
ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Лукьянова Александра Дмитриевича на диссертационную работу Шатагина Дмитрия Александровича «Повышение динамической устойчивости процесса резания на основе подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Актуальность диссертации

Одной из основных задач в экономическом развитии Российской Федерации является создание конкурентоспособной, устойчивой промышленности, способной к эффективному саморазвитию на основе разработки и применения передовых промышленных технологий, нацеленных на формирование и освоение новых рынков инновационной продукции. Приоритетным направлением в рамках данной задачи, рассматривается развитие «Цифровых» производств, характеризующихся высокой степенью автоматизации технологических процессов, с применением современных методов, таких как искусственный интеллект и машинное обучение. Такой подход обуславливает создание новых технологических единиц способных собирать и анализировать большое количество информации и оперативно адаптироваться под конкретные технологические задачи, обеспечивая при этом высокое качество механической обработки, производительность и экономическую эффективность операций. В свою очередь производительность и качество механической обработки в значительной степени зависят от динамических процессов, протекающих при резании материалов, на которые оказывает влияния большое количество управляемых и неуправляемых факторов, приводящих к изменениям, как в системе станка, так и непосредственно в самой зоне резания. При этом необходимо учитывать особенности процесса резания, протекающего в условиях сильных внешних возмущений, высоких температур и сил резания, а также различных нелинейных трансформаций в структуре обрабатываемого материала взаимодействующего с упругой системой станка.

На данный момент уже проведен значительный ряд исследований, посвященных автоколебаниям при резании и предложены математические модели, учитывающие различные технологические факторы и особенности процесса резания, однако отсутствует единое физическое обоснования причин вызывающих потерю динамической устойчивости системы резания и механизмов поддержания автоколебаний. Данный факт указывает о необходимости проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований автоколебаний при резании с применением новых методов и подходов из области динамики сложных нелинейных систем и современных технологий обработки информации. Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности



механической обработки, за счет управления динамической устойчивостью процесса резания на основе подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта являются актуальными.

Научная новизна и новые результаты

В ходе диссертационного исследования автором были достигнуты результаты, представляющие научную новизну, а именно:

1. В работе получены новые научные знания о механизме возникновения автоколебаний при резании, свидетельствующие о значительной роли нелинейных структурных перестроек в обрабатываемом материале на динамику процесса резания и образованию волновых мод деформации, приводящих к периодическому запасанию и диссипации энергии в зоне стружкообразования и установлению автоколебательного процесса при резании;
2. Результаты многофакторного эксперимента, показывающие влияние условий обработки на динамическую устойчивость процесса резания с позиции нелинейной динамики и фрактального анализа, при этом в качестве количественных критериев были приняты: фрактальная размерность аттрактора, информационная энтропия сигнала ВАЭ и старший показатель Ляпунова;
3. Предложена модель динамической устойчивости процесса резания, представляющая собой рекуррентную искусственную нейронную сеть, позволяющую производить моделирование динамики процесса резания в различных точках рабочего пространства станка, и находить оптимальные условия обработки обеспечивающих заданную динамическую устойчивость.

Достоверность полученных результатов

Достоверность научных разработок и основных положений диссертации подтверждены серией экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях и соответствуют текущим знаниям и представлениям в области обработки металлов резанием. В ходе экспериментальных исследований применялись современные и хорошо зарекомендовавшие методики обработки цифровых сигналов, высокоточное сертифицированное измерительное оборудование, различные по свойствам и структуре обрабатываемые и режущие материалы. Количество проведенных серий экспериментов свидетельствует о достаточном наборе статистических данных позволяющих судить об особенностях генеральной совокупности.

Практическая значимость работы

Автором были получены результаты представляющие практическую значимость диссертационной работы:

1. Разработана автоматизированная система, способная интегрироваться в существующее металлорежущее оборудование и позволяющая производить оценку и управление динамической устойчивостью процесса резания, с использованием предварительно обученной нейронной сети. Данная система может использоваться при удаленном доступе на предприятиях машиностроения, как «облачный» сервис;
2. Создана реляционная база данных для хранения сведений об обучающей выборке для нейросетевой модели динамической устойчивости процесса резания в виде совокупности векторов динамического состояния процесса резания и технологических параметров;
3. Предложена и запатентована конструкция токарного резца позволяющего регистрировать и передавать данные сигнала ВАЭ в интеллектуальную систему управления динамической устойчивости процессом резания;
4. Предложен и запатентован состав наноструктурного покрытия для токарного режущего инструмента повышающий динамическую устойчивость процесса резания.

Содержание

Диссертационная работа изложена на 159 страницах, включая 10 страниц приложений, и состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и включает 88 рисунков и 3 таблицы. В приложении представлены алгоритмы использованные в обработке экспериментальных данных и входящие в состав интеллектуальной системы управления динамической устойчивостью процесса резания, структура базы данных и нейросетевой модели динамической устойчивости процесса резания, а также акты внедрения в учебный и производственный процесс.

В **первой** главе, на основе литературного обзора, выполнен анализ существующих механизмов возникновения колебаний. Рассмотрены известные способы управления динамической устойчивостью процесса резания и выделены основные управляющие факторы. Поставлены цели и задачи исследования. В качестве основного источника информации о динамической устойчивости процесса резания, принят сигнал ВАЭ.

Вторая глава посвящена методикам проведения экспериментального исследования и алгоритмам фильтрации и обработки сигнала ВАЭ. В качестве основных критериев устойчивости процесса резания, автором приняты: фрактальная размерность аттрактора, информационная энтропия сигнала ВАЭ и старший показатель Ляпунова. В качестве передачи данных на сервер выбран протокол ТСР/ІР.

Третья глава посвящена многофакторному экспериментальному исследованию на основе методик предложенных во второй главе. Получены экспериментальные зависимости амплитуды автоколебаний, фрактальной размерности аттрактора, информационной энтропии сигнала ВАЭ и старшего показателя Ляпунова от режимов обработки, геометрии и степени износа инструмента, вида обрабатываемого материала и параметров жесткости упругой системы станка, СОТС и состава наноструктурного износостойкого покрытия.

В **четвертой** главе приведен анализ экспериментальных данных. В качестве основного механизма возникновения автоколебаний принято запаздывание изменения силы резания от изменения толщины среза, который диссертантом трактуется как результат структурных перестроек обрабатываемого материала в зоне резания. На основе атомно-дислокационного подхода предлагается аналитическая зависимость деформационных процессов в зоне стружкообразования от скорости движения и длины пробега дислокаций. Автоколебательный процесс в условиях установившегося резания, автором, объясняется наличием локализованных источников энергии вследствие дислокационных перестроек при образовании нового элемента сдвига стружки. Показано, что уменьшение длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента положительно сказывается на динамической устойчивости процесса резания и приводит к снижению времени переходного процесса.

В **пятой** главе представлены возможные пути повышения динамической устойчивости процесса резания. В качестве основного направления предлагается разработанная интеллектуальная система управления динамической устойчивостью процесса резания. Особенностью данной системы является учет динамического состояния конкретного оборудования и возможность самообучения на основе накопленного опыта, который хранится в специально разработанной базе данных и представленный в виде векторов динамического состояния и технологических параметров. Разработанная система позволяет оптимизировать режимы обработки на основе результатов моделирования динамического состояния процесса резания. В производственных условиях сильно ограничивающих использование виброизмерительной аппаратуры, предлагается использовать, в составе разработанной системы, специальный токарный резец со встроенной измерительной электроникой и каналами беспроводной передачи данных. В качестве дополнительного направления повышения динамической устойчивости процесса резания, предлагается запатентованный состав специального наноструктурного покрытия для режущего инструмента. Результаты проведенных экспериментальных исследований,

показали эффективность предлагаемых путей повышения динамической устойчивости процесса резания.

Замечания и пожелания

1. Рассматривая различные модели формирования силы резания, и причины, приводящие к потере устойчивости и развитию колебаний в системе резания, автор упускает из виду случай развития автоколебаний под действием изменяющейся силы трения по задней поверхности инструмента. Следует отметить, что этот механизм является распространенной причиной потери устойчивости при износе инструмента, и имеет в своей основе скоростную зависимость силы трения, описываемую кривой Штрибека.
2. В работе в качестве критерия, оценивающего степень хаотичности аттрактора системы резания, принято значение фрактальной размерности, которая в свою очередь зависит от условий обработки. При этом значение фрактальной размерности принимает дробные значения в диапазоне от 1 до 5. Однако в работе не приводится физическое объяснение данных показателей, а динамическую систему резания желательно исследовать на наличие различных типов движений на разных масштабах, используя не только «косвенные показатели», но и методы математического моделирования, идентификации модели, построения областей устойчивости и бифуркационного анализа.
3. Не совсем понятно, что автор работы подразумевает под «повышением динамических характеристик процесса резания» в пункте «практическая значимость работы» автореферата и диссертации. Что автор понимает под «динамическими характеристиками» в данном случае?
4. Может ли автор пояснить физические или математические принципы, приводящие к росту фрактальной размерности аттрактора при увеличении амплитуды автоколебаний (а также увеличение энтропии сигнала ВАЭ и старшего показателя Ляпунова)?
5. Каким образом было установлено, и как проиллюстрирована зависимость фрактальной размерности аттрактора от переднего угла и главного угла в плане (стр. 9 автореферата)?
6. Сложно согласиться с замечанием, что «Нелинейная зависимость силы резания от скорости справедлива только для стационарных режимов обработки. При изменении скорости резания вследствие колебаний инструмента, сила резания меняется мало, по причине инерционности тепловых процессов в зоне стружкообразования» (стр. 21 дисс.). Существует значительное число работ, в том числе – школы В.Л.Заковоротного, в которых как теоретически, так и экспериментально показано, что именно изменение скорости резания вследствие колебаний инструмента приводит к возникновению автоколебаний.
7. Несколько неверно утверждать, что в линейной системе, приведенной на рис. 1.5, могут возникнуть автоколебания. Данная система может потерять устойчивость (что автор справедливо показывает, используя критерий Найквиста), однако механизма ограничения амплитуды колебаний, и, соответственно, формирования предельного цикла, который и определяет существование автоколебаний, в подобной системе нет. То есть, анализ линеаризованных уравнений позволяет определить условия потери устойчивости (что автор справедливо отмечает на стр. 24), но не позволяет утверждать, что в этом случае возникнут автоколебания.
8. В то же время, не совсем понятно упоминание в формулировке критерия устойчивости Найквиста пересечения с единичной окружностью. (стр. 21 диссертации). Кроме того, влияние величины T_r в данном случае нелинейно, и утверждение, что при увеличении T_r система потеряет устойчивость, не всегда справедливо. Для этого необходимо, как обязательное условие, чтобы общий

коэффициент усиления разомкнутой системы был больше единицы, а во вторых, чтобы при увеличении T_r не происходило уменьшения амплитуды АФЧХ динамической системы. То-есть, увеличение T_r не является достаточным условием потери устойчивости в описываемой автором системе.

9. Спорным, на мой взгляд, является утверждение, что автоколебания в станочной системе возникают на частотах вблизи частот собственных колебаний упругой системы станка. (например, стр. 25). В свое время такое мнение существовало, однако анализ динамической системы станка, как совокупности подсистем инструмента, детали, приводов и т.п., объединяемых через нелинейный процесс резания, основу которому заложил еще В.А.Кудинов, показывает, что частотные характеристики (в том числе – собственные частоты и частоты возбуждения колебаний) могут существенно отличаться от собственных частот исходных подсистем. При этом часто за автоколебания принимаются резонансные колебания подсистем инструмента и/или детали, возникающие под действием шумовой составляющей процесса резания. Эти вопросы необходимо исследовать аккуратно и скрупулезно.
10. В тексте диссертации существует ряд оформительских погрешностей и опечаток, в частности, в формуле (1.9) перепутан индекс у одной из постоянных времени (T_1^2 вместо T_2^2). Также, при выводе уравнения (1.4) в выкладках перепутан знак в величине изменения силы резания. При формальной подстановке выражения (1.3) в (1.2) получится сумма, а не разность коэффициентов демпфирования. На стр. 38 (рис. 1.9) неверно классифицированы фазовые портреты. Предельный цикл изображен на рис. «в» (и внутри него находится неустойчивый фокус), а на рис. «б» изображен «центр».
11. При измерении вибрации с помощью виброакселерометров, их рекомендуется подключать к системам ввода (АЦП) через усилители заряда. Из текста диссертации не понятно, использовался ли усилитель заряда в схеме при измерении ВАЭ. В противном случае получается, что измеряется не ускорение, а его производная.
12. Какие типы акселерометров и микроконтроллеров автор предполагает использовать в токарном резце с системой сбора и передачи данных по Wi-Fi? Следует соблюсти необходимый баланс между частотным диапазоном акселерометра, возможностями АЦПЭ, производительностью и энергопотреблением микроконтроллера и пропускной способностью канала Wi-Fi.
13. В качестве одного из способов повышения устойчивости процесса резания, автором предлагается использовать износостойкое покрытие с заданным составом, изменяющим трение свойства лезвия инструмента. Однако в своих исследованиях, автор не приводит данных характеризующих влияние коэффициента трения в зоне стружкообразования на значение фрактальной размерности аттрактора.

В целом по работе следует отметить некоторый дисбаланс между теоретической частью работы в сторону обширных экспериментальных исследований. Однако этот факт можно рассматривать и как достоинство представленной диссертации, поскольку большой объем полученных экспериментальных результатов, и их подробный и многосторонний анализ безусловно вносит заметный вклад в развитие понимания динамических процессов, имеющих место при обработке металлов резанием.

Заключение

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа Шатагина Д.А., по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям раздела 2 Положения о присуждении ученых

степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, с дополнениями в соответствии с постановлением №355 от 21 апреля 2016 г.

Автор работы, Шатагин Д.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальный оппонент

кандидат технических наук (научная специальность, по которой защищена диссертация: 05.03.01 – «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки»,

05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении)»), заведующий кафедрой «Автоматизации производственных процессов», ФГБОУ ВО "Донской государственный технический университет", раб. телефон (863) 273-85-10, почтовый адрес - 344000, ЮФО, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, адрес электронной почты – reception@donstu.ru, alexlukjanov1998@gmail.com

" 7 " сентября 2018 г.

Лукьянов Александр Дмитриевич

Подпись Лукьянова Александра Дмитриевича удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ДГТУ



Анисимов В. Н.