

На правах рукописи

ВЕЛЬМЕСЕВА ЕЛЕНА ВИТАЛЬЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
РЕЗАНИЯ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА С
НАНОСТРУКТУРНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

Специальность 05.02.07 – технология и оборудование механической
и физико-технической обработки (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Н.Новгород – 2012

Работа выполнена в Нижегородском государственном техническом университете им.Р.Е. Алексеева, г. Н.-Новгород

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук,
профессор Кабалдин Юрий Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Сорокин Виталий Матвеевич
Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия

кандидат технических наук
Секретова Елена Павловна
начальник бюро
ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей»»

Ведущая организация: Нижегородский филиал Института
машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

Защита состоится: 29 мая 2012г. В 14-00 на заседании диссертационного
совета Д212.165.09 на базе Нижегородского государственного
технического университета им. Р.Е. Алексеева по адресу ул. Минина д.
24

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке
Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.
Алексеева по адресу ул. Минина д. 24

Автореферат разослан «__» апреля 2012 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Б.В.Устинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Состояние металлорежущего инструмента в процессе механической обработки в значительной мере определяет качество обрабатываемой поверхности, силы резания, а, следовательно, устойчивость процесса резания и производительность обработки. Последнее достигается за счёт снижения времени резания (возможности увеличения режима резания) и времени на замену режущего инструмента (увеличение периода стойкости).

Большое влияние на производительность обработки оказывают колебания упругой системы станка. Процесс резания по мере изнашивания инструмента сопровождается «биениями» и переходит к хаотическим колебаниям. В этой связи, возникает необходимость диагностики состояния режущего инструмента, особенно в условиях автоматизированного производства.

В современной промышленности широко применяются такие конструкционные материалы как нержавеющие стали, титановые сплавы, которые обладают высокими прочностными и вязкостными характеристиками, что существенно затрудняет их обработку. Поэтому, к современному металлорежущему инструменту предъявляются повышенные требования: он должен иметь высокую сопротивляемость к изнашиванию и хрупкому разрушению в условиях механических и тепловых нагрузок.

Режущий инструмент является наиболее слабым элементом технологической системы. Процесс обработки металлов резанием может быть существенно усовершенствован за счёт применения наноструктурного покрытия для режущего инструмента. В этой связи разработка новых составов покрытий с характеристиками, обеспечивающими высокую сопротивляемость износу режущего инструмента, является актуальной проблемой машиностроения.

Цель работы - разработка режущего инструмента с наноструктурным покрытием для повышения эффективности процесса резания. Для достижения поставленной цели было необходимо осуществить ряд исследований:

1. Провести анализ существующих методов осаждения и составов износостойких покрытий для режущего инструмента.

2. Провести комплексное исследование влияния составов покрытий на основные выходные параметры механообработки (силы резания, усадка стружки, относительный сдвиг, устойчивость процесса резания), определяющих эффективность процесса резания.
3. С использованием современной аппаратуры установить наноструктурный характер осаждаемых на режущий инструмент покрытий.
4. Исследовать стойкость инструмента и механизм разрушения покрытий при резании конструкционных и нержавеющей сталей, на этой основе разработать наноструктурные покрытия, обеспечивающие высокую работоспособность инструмента.
5. Провести исследование режущего инструмента с наноструктурными покрытиями в условиях действующего производства и разработать рекомендации для их эффективного использования.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Проведён анализ методов и составов существующих износостойких покрытий для режущего инструмента и определены современные тенденции повышения эффективности процессов механообработки. Показано, что наиболее перспективным направлением повышения эффективности обработки является использование режущего инструмента с наноструктурным покрытием.
2. С использованием современной аппаратуры, в частности, сканирующего электронного микроскопа, микрорентгеноспектрального анализа, атомного силового микроскопа показано, что многоэлементное покрытие обеспечивает формирование наноструктурного размера зёрен. Это достигается и при формировании многослойных покрытий.
3. Установлено, что применение режущего инструмента с наноструктурными покрытиями способствует снижению сил резания, усадки и повышению устойчивости процесса резания.
4. На основе анализа виброакустической эмиссии (ВАЭ) при резании построены аттракторы динамической системы обработки резанием. Показано, что использование инструмента с наноструктурным покрытием способствует снижению величины фрактальной размерности аттракторов. Анализ энергетических соотношений при резании позволил констатировать, что технологическая система обработки резанием – диссипативная динамическая система. Снижение интенсивности процессов деформации в системе резания за счёт

уменьшения сил трения в зоне контакта стружки с инструментом способствует росту устойчивости резания. В этой связи, для повышения надёжности процесса резания, разработана система диагностики для станков с ЧПУ его динамической устойчивости, основанная на оценке фрактальной размерности аттрактора при анализе сигнала ВАЭ по мере изнашивания режущего инструмента в режиме реального времени.

5. Проведены стойкостные испытания режущего инструмента с различными составами покрытий. Установлено, что наибольшая стойкость режущего инструмента достигается при использовании режущего инструмента с наноструктурными покрытиями. При резании конструкционных и нержавеющей сталей стойкость инструмента увеличивается до 4 раз.

6. Исследован механизм разрушения покрытий, вызывающий изнашивания режущего инструмента в процессе резания. Показано, что в начальный момент резания происходит трещинообразование покрытия, а затем отрыв его частиц. Частицы покрытия могут залегать в местах вырыва зёрен карбидной фазы твёрдосплавной основы и тем самым упрочнять её, способствуя повышению сопротивляемости изнашиванию на участке «нормального» износа. На основе выявленного механизма изнашивания инструмента, разработаны новые составы наноструктурных покрытий, обеспечивающие повышение работоспособности инструмента при обработке конструкционных и нержавеющей сталей.

Практическая значимость заключается в результатах производственных испытаний режущего инструмента в условиях действующего производства ООО «Нижегородские моторы» группа ГАЗ. Показано, что при точении коррозионностойкой стали было достигнуто повышение стойкости режущего инструмента в 4 раза по сравнению с инструментом без покрытия.

Реализация результатов работы. Полученные результаты, используются в учебном процессе кафедры «Технология и оборудование машиностроения» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, а также в условиях действующего производства ООО «Нижегородские моторы» группа ГАЗ.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Результаты комплексных исследований эффективности составов покрытий для инструмента при резании с оценкой сил резания, усадки, и

устойчивости процесса резания путём построения аттракторов и фрактальной размерности при анализе сигналов виброакустической эмиссии.

2. Результаты исследований структуры покрытий с использованием растровой электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа, силового туннельного электронного микроскопа, а также других характеристик покрытия.

3. Результаты стойкостных лабораторных и производственных испытаний инструмента с различными составами покрытий при обработке конструкционных и нержавеющей сталей.

4. Рекомендации по повышению эффективности использования режущего инструмента с покрытием в производственных условиях.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были доложены и обсуждены на: VI международной молодёжной научно-технической конференции «Будущее технической науки». – Н.Новгород – 2007г.; Научно-технической конференции молодых специалистов группы ГАЗ – 2008г., 2011г.; 9-ой специализированной выставке «Машиностроение. Станки. Инструмент», 2010г.; расширенном заседании кафедры «Технология и оборудование машиностроения», 2010... 2012г.г.

Публикации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 4 печатных работах, из которых 1 в центральных журналах, 1 в зарубежном, статей в сборниках трудов 2.

Получен патент на полезную модель «Режущая пластина» №107987

Личный вклад автора состоит в разработке методик исследования, организации и проведении производственных испытаний образцов покрытий, обработке результатов экспериментов. Автором самостоятельно выдвинуты защищаемые научные положения и разработаны основные выводы работы. Интерпретация результатов всех проведённых исследований и выводы сделаны автором. Автором разработаны новые составы наноструктурных покрытий для режущего инструмента.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений, изложена на 140 страницах, включает 57 рисунков, список литературы из 126 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность темы. Сформулированы цели, научная новизна и задачи исследования, приводится краткое содержание работы.

В первой главе приведён аналитический обзор литературных и интернет источников по вопросам повышения работоспособности режущего инструмента. Изложены механизмы изнашивания режущего инструмента и методы повышения его работоспособности. Анализ источников показывает, что наиболее перспективным направлением повышения работоспособности инструмента является нанесение износостойких покрытий. Большой вклад в разработку механизмов изнашивания твердосплавного РИ и повышение его работоспособности внесли Аваков А.А., Жарков И.Г., Зорев Н.Н., Бобров В.Ф., Верещака А.С., Григорьев С.Н., Кабалдин Ю.Г., Клушин М.И., Кретинин О.В. Кудинов В.А., Лоладзе Т.Н., Полетика М.Ф., Остафьев В.А., Подураев В.Н., Резников А.Н., Розенберг А.М., Силин С.С., Старков В.К., Талантов Н.В. и др.

Важные исследования в области инструмента с износостойкими покрытиями выполнены научными коллективами государственного технического университета «Мосстанкин», научно-исследовательского технологического университета «МИСиС», Ульяновского государственного технического университета, ВНИИТС и др.

Однако к современному инструменту предъявляются высокие требования как по износостойкости, так и надёжности. Надёжность – это безотказность работы в установленный период. Износостойкость и надёжность в значительной степени определяется динамическими характеристиками технологической системы – устойчивостью процесса резания. Это обуславливает необходимость новых подходов к выбору составов и структуры износостойких покрытий.

В последние годы появились работы, где сообщается о возможности формирования в покрытиях наноструктурного состояния. Однако этот вопрос мало изучен и требует дальнейших исследований.

Существует ряд методов осаждения покрытий на режущие пластины – CVD и PVD. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Метод CVD обеспечивает более высокую прочность сцепления покрытия с твердосплавной основой. Метод PVD (метод КИБ, магнетронный и т.д.) обладает большей гибкостью в смысле формирования широкого спектра по составу покрытий.

В этой связи, целью настоящей работы явилась разработка наноструктурного режущего инструмента для повышения эффективности процесса резания.

На основании вышеизложенного, были сформулированы следующие задачи:

- 1) провести анализ существующих методов осаждения и составов износостойких покрытий для режущего инструмента;
- 2) провести комплексное исследование влияния составов покрытий на основные выходные параметра процесса резания (силы резания и устойчивость процесса резания);
- 3) с использованием современной аппаратуры определить наноструктурный характер осаждаемых на режущий инструмент покрытий;
- 4) исследовать механизм разрушения покрытий и разработать рекомендации по повышению износостойкости режущего инструмента с покрытием, разработать наноструктурные покрытия, обеспечивающие высокую работоспособность;
- 5) провести исследование режущего инструмента с наноструктурными покрытиями в условиях действующего производства и разработать рекомендации для их эффективного использования.

Во второй главе изложены методики исследования как выходных параметров процесса резания (сил резания, устойчивости процесса резания), так и оценки структурного состояния покрытия.

Обработке подвергались сталь 45 и нержавеющей сталь 1Х18Н10Т. Приведено описание экспериментальной установки, состоящей из токарно-винторезного станка мод. 1К62 и измерительной аппаратуры, включающий динамометр, резец с датчиком для регистрации виброакустической эмиссии (ВАЭ).

На рис.1 приведена обобщённая схема регистрации и обработки ВАЭ при резании. При этом полученные осциллограммы рассматривались как временные ряды, на основе которых определялась фрактальная размерность ВАЭ сигнала.

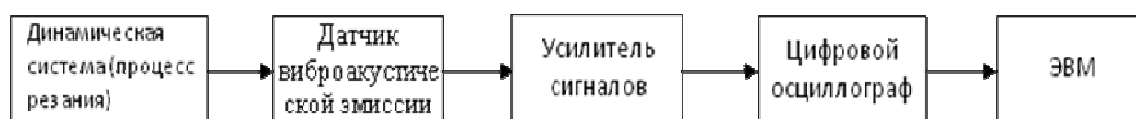


Рис.1. Этапы получения временных рядов, характеризующих динамическую систему токарного станка в процессе механической обработки резанием

Приведены схемы получения покрытий методом магнетронного распыления, составы покрытий и результаты их лабораторных исследований (модуль упругости, микротвёрдость и т.д.).

В третьей главе приведены результаты исследования сил резания, усадки стружки, угла сдвига и температуры резания.

При обработке стали 45 (рис. 2) наибольшие силы резания: P_z , P_y наблюдались при работе пластинами без покрытия, а также с покрытием TiCN, наименьшие силы резания были зафиксированы (так же, как и при обработке нержавеющей стали) при работе пластинами с покрытием AlTiN.

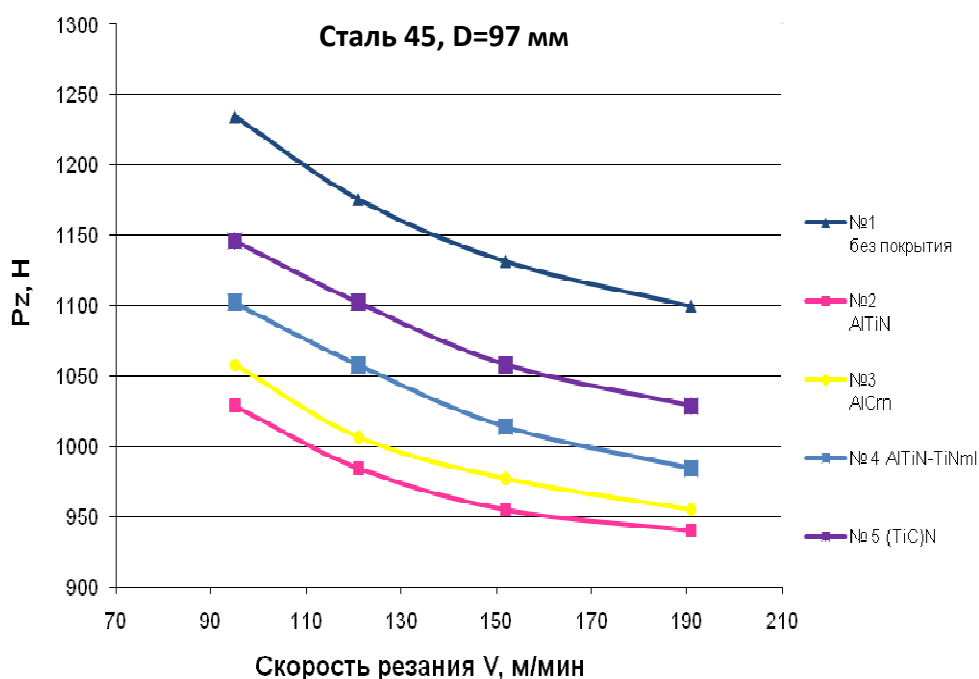


Рис. 2 Зависимость силы резания P_z при обработке стали 45 от скорости резания:
 $S_o=0,39$ мм/об; $t=1$ мм; $\varphi=90^\circ$

Исследования показали, что при обработке нержавеющей стали 1X18H10T наибольшие силы резания P_z , P_y (P_z порядка 370...450Н; P_y порядка 370...420Н) зафиксированы при работе пластинами без покрытия, а также с покрытием AlCrN. Наименьшие величины сил резания наблюдаются при работе пластинами с покрытием AlTiN.

Приведены результаты исследования зависимости коэффициента усадки стружки (рис. 3) и угла текстуры (рис. 4) от скорости резания и состава покрытия режущего инструмента при обработке стали 45.

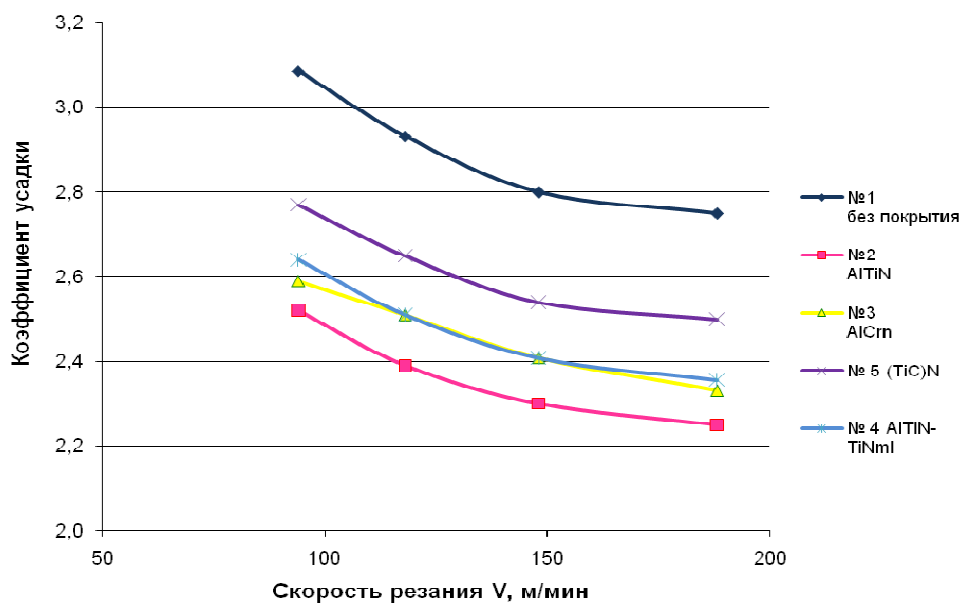


Рис. 3 Зависимость коэффициента усадки стружки от скорости резания: сталь 45 $S_o=0,39$ мм/об; $t=1$ мм; $\varphi=90^\circ$

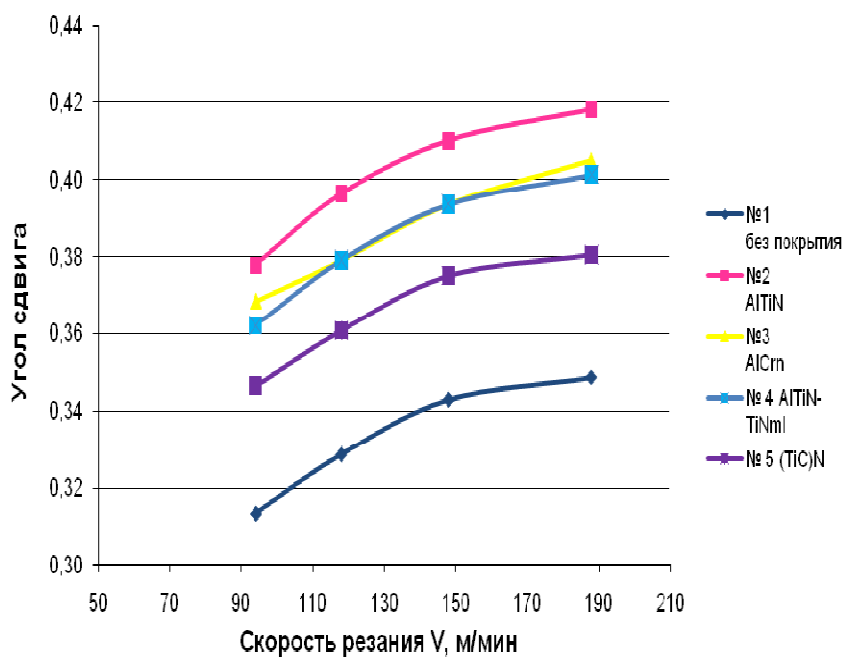


Рис. 4 Зависимость угла сдвига текстуры от скорости резания: сталь 45, $S_o=0,39$ мм/об; $t=1$ мм; $\varphi=90^\circ$

На рис. 5 приведена зависимость стойкости T инструмента от скорости резания V . Как следует из рис. 5 наибольшая стойкость была зафиксирована при обработке режущим инструментом с покрытием AlTiN. Наименьшую стойкость инструмента показали пластины с покрытием AlCrN.

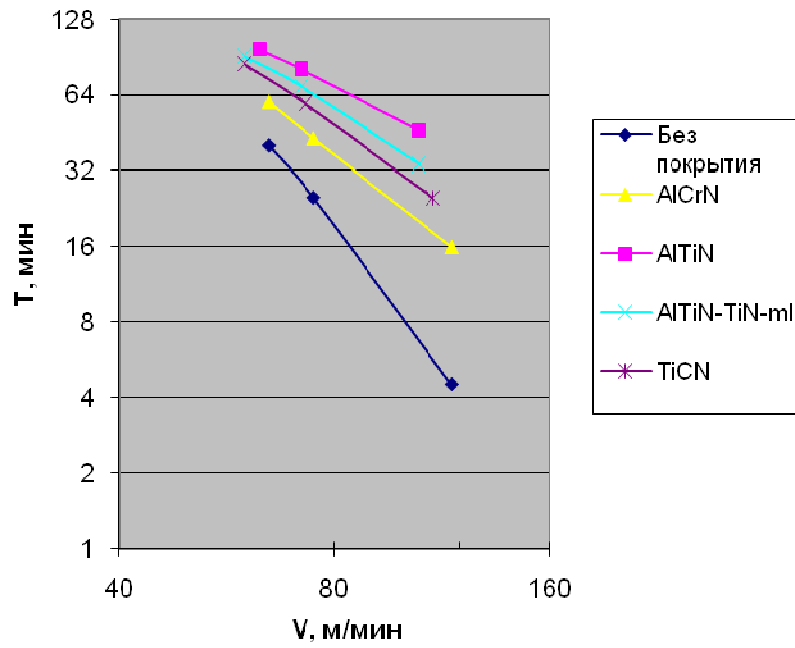


Рис.5 - Зависимость стойкости режущего инструмента с различными видами покрытий к изнашиванию при обработке стали 1Х18Н10Т от скорости резания

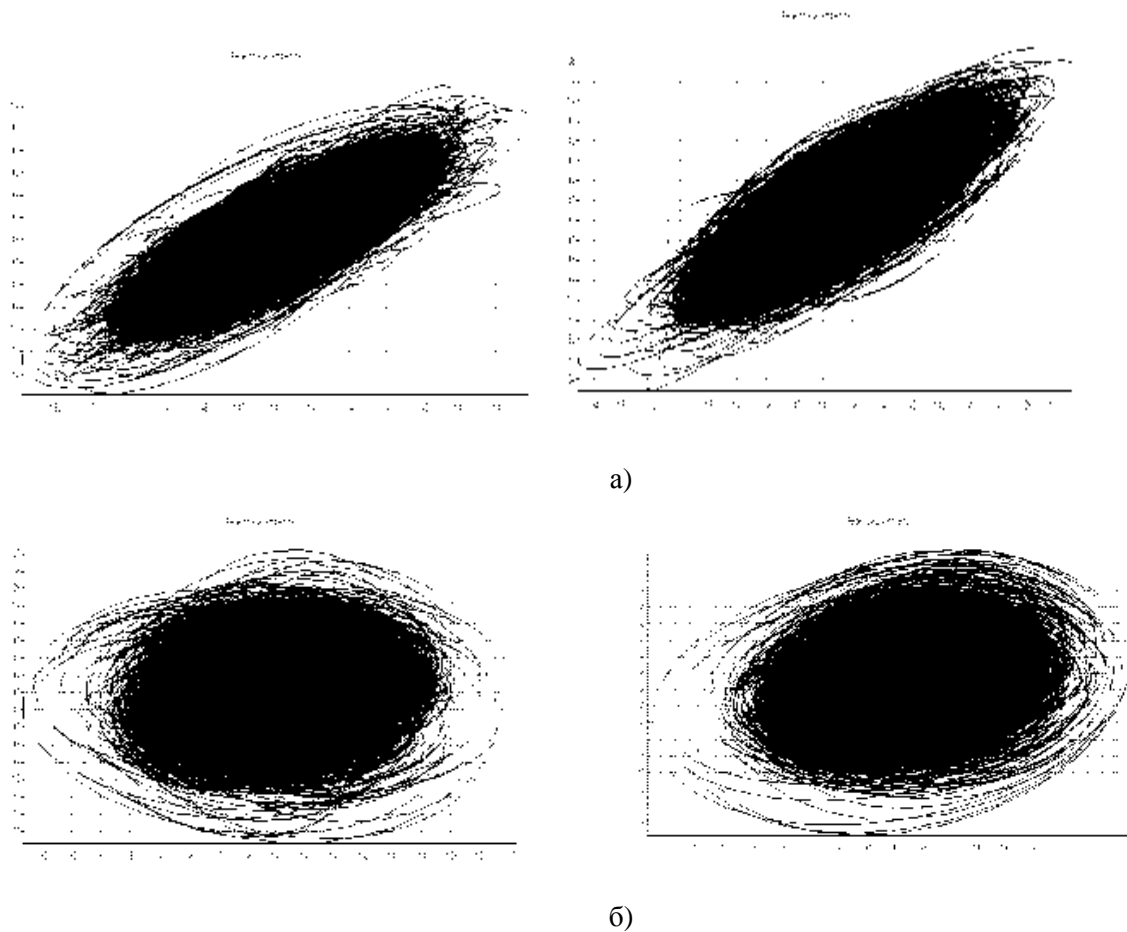


Рис. 6 - Аттракторы сигнала ВЭА при резании стали 45 ($V=120$ м/мин, $S_0=0,12$ мм/об; $t=0,5$ мм) инструментом с покрытиями а) AlTiN , б) AlCrN

Таблица 1 - Фрактальная размерность и аттракторы при анализе акустического сигнала при резании стали 45 $V=100$ м/мин $t=1$ мм, $S=0,12$ мм/об

Вид покрытия	Фрактальная размерность
TiCN	1,17
AlCrN	1,18
AlTiN	1,16
AlTiN-TiN-ml	1,17
Без покрытия	1,22

В таблице 1 приведены результаты исследования фрактальной размерности ВЭА сигнала и его аттракторы (рис.6) при использовании различных составов покрытий.

Фрактальная размерность аттракторов ВЭА сигнала при резании инструментом с покрытием AlTiN (табл. 1) при обработке стали 45 составила 1,16, при резании с покрытием AlCrN – 1,18, а без покрытия-1,22. Устойчивость процесса резания оценивалась по фрактальной размерности (таблица 2) аттрактора.

Аттракторы при резании инструментом с покрытием AlTiN характеризуется эллипсом (рис.6 а), а инструмента с покрытием AlCrN – тором (рис.6 б).

В четвёртой главе приведены результаты исследования механизма изнашивания режущего инструмента с покрытием, влияния состава покрытия на деформационные характеристики процесса резания, а также на его устойчивость при оценке её по фрактальной размерности аттракторов виброакустического сигнала при резании.

На рис. 9, 10 представлены электронные микрофотографии характера изнашивания режущего инструмента. Исследование показывает, что типичным для всех покрытий является его растрескивание в начальный момент резания с дальнейшим отрывом частиц покрытия, после чего твёрдосплавная основа оголяется и происходит образование лунки износа (рис. 7, 8).

Растрескивание покрытия, в частности AlCrN (рис.7б), происходит более интенсивно, чем покрытия AlTiN (рис. 7б). Это обуславливает и более интенсивный отрыв частиц покрытия AlCrN и изнашивание твёрдосплавной основы с образованием лунки (рис.8а).

Покрытие AlTiN имеет мелкозернистую структуру, и, как показали исследования на атомном силовом микроскопе, средний размер зёрен составляет около 100 нм (рис. 9).

Кроме того, анализ механизма разрушения покрытия AlTiN показывает, что после растрескивания, как указывалось выше, наблюдается меньший отрыв частиц покрытия. Частицы покрытия могут залегать в вырывах зёрен карбидов твёрдосплавной основы (рис.

7г). Это обеспечивает повышение износостойкости режущего инструмента на участке нормального изнашивания.

В таблице 1 приведены результаты исследования фрактальной размерности аттракторов ВЭА сигнала при использовании различных составов покрытий. Для этой цели использовался специальный резец с наклеенными пьезодатчиками, позволяющий регистрировать сигнал ВАЭ при резании.

Фрактальная размерность аттрактора характеризует устойчивость динамической системы в фазовом пространстве. Чем выше фрактальная размерность аттрактора, тем менее устойчива система.

На рис.6 видно, что при резании инструментом с покрытием AlTiN размер фазового пространства его аттрактора меньше, чем при резании инструментом с покрытием AlCrN.

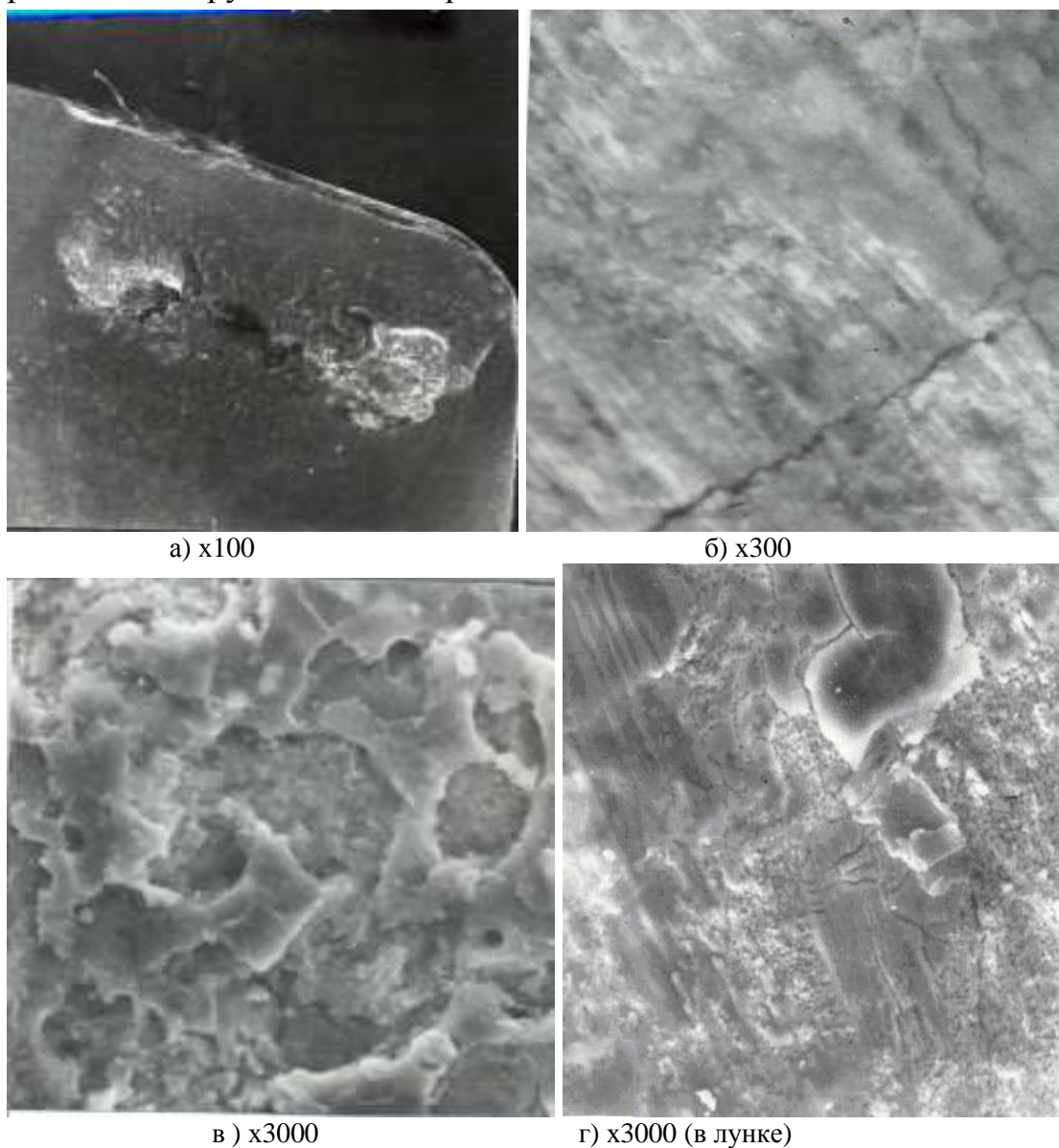


Рис. 7. Микрофотографии, иллюстрирующие характер и механизм разрушения покрытия AlTiN

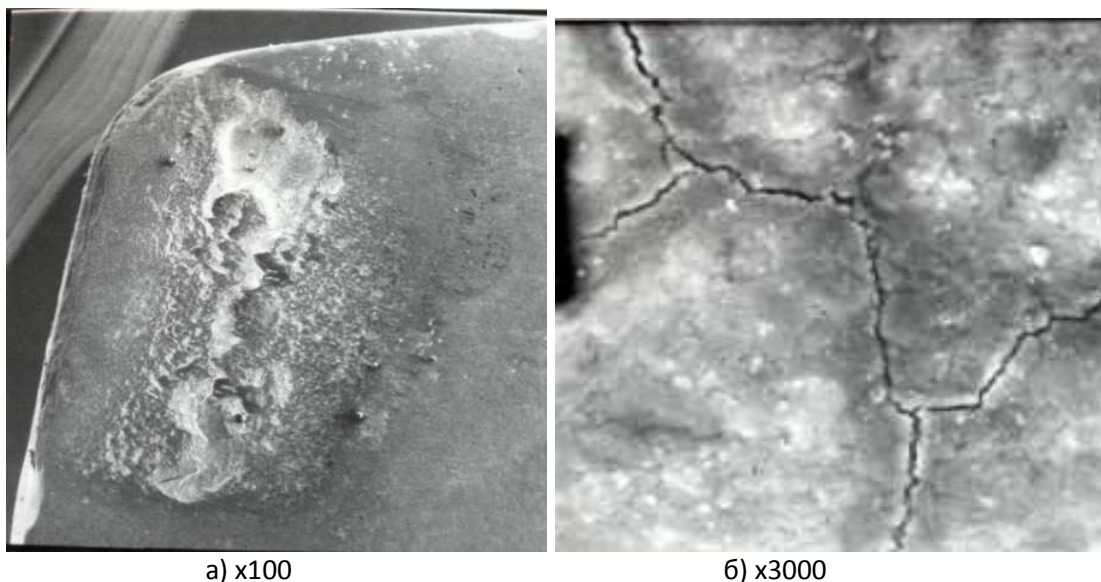
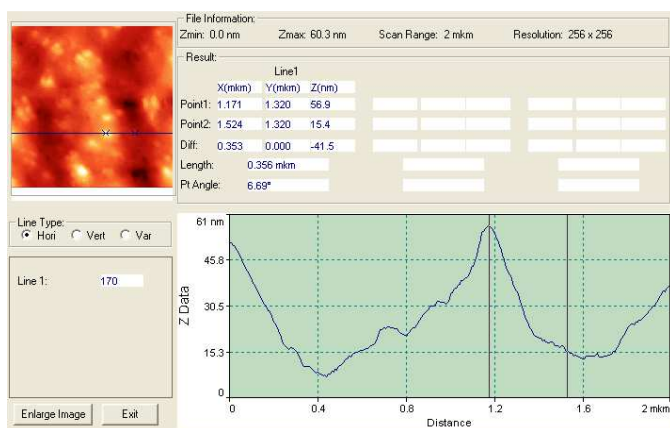


Рис. 8. Микрофотографии, иллюстрирующие характер и механизм разрушения покрытия AlCrN



№	Средняя высота зерен для каждого скана
1	108,783±25,4139 nm
2	109,854±23,6519 nm
3	119,187±27,6264 nm
4	87,9751±23,0095 nm
5	121,329±33,9559 nm
6	82,9257±21,9689 nm

Рис. 9. Анализ поверхностной структуры покрытия AlTiN, выполненный на АСМ (атомном силовом микроскопе)

Известно, что решение системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику периодических колебаний во времени, наиболее полно даёт изучение ее на фазовой плоскости или в пространстве. Поэтому решению этих уравнений движения, как функции времени, отвечает гладкая кривая в фазовой плоскости – фазовая траектория. Аттрактор – набор фазовых траекторий, иногда называемый фазовым портретом. Такое качественное решение дифференциальных уравнений применимо к диссипативным динамическим системам.

Поэтому можно утверждать, что покрытие AlTiN обеспечивает большую диссипацию энергии деформации в зоне стружкообразования и в прирезцовых слоях стружки, чем другие составы покрытий.

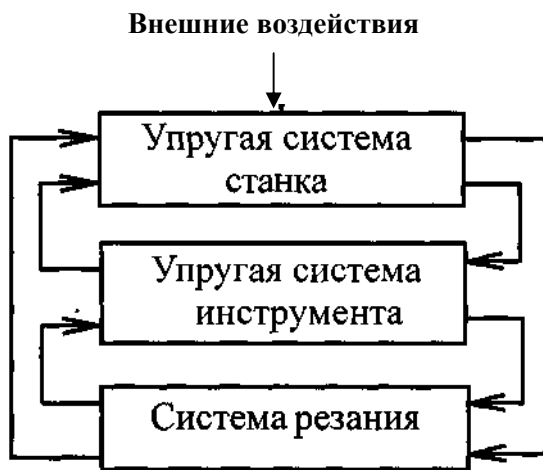


Рис.10 Иерархия подсистем в технологической системе

Упругая система станка, как активная среда, обменивается энергией, закачиваемой в систему при резании, с подсистемами (рис. 10).

Это вызывает перемещение и деформацию отдельных деталей и узлов станка (Кудинов В.А. и др.). Наряду с этим, в подсистемах происходит диссипация энергии по различным механизмам (выделение тепла при трении в

узлах и в подвижных соединениях, изнашивание деталей, автоколебания, релаксация напряжений и т.д.). По-видимому, наиболее общим механизмом диссипации энергии в динамических системах являются различного вида релаксационные явления. Эти процессы можно описать только с помощью нелинейных уравнений, что объясняет запаздывание сил при врезании в заготовку и нелинейность подсистем УС, а следовательно, её хаотизацию.

Уровень механической работы A_p , зависящий от степени внешнего воздействия, передается через всю систему. Энергетический баланс в упругой системе станка можно записать в виде:

$$\Delta E_m = \Delta E_p + \Delta E_d + \Delta E_{дис} + \Delta E_T, \quad (1)$$

где ΔE_m - уровень механической энергии в УСС; ΔE_p - энергия затрачиваемая на резание (полезная); ΔE_d - энергия деформации, запасаемая в подсистемах; $\Delta E_{дис}$ - рассеиваемая энергия; ΔE_T - тепловая энергия, образующаяся в подсистемах от трения деталей в узлах и в зоне резания.

Для устойчивого функционирования технологической системы важно, чтобы закачиваемая в систему энергия полностью рассеивалась в подвижных соединениях и узлах (колебательных системах)

$$\Delta E_p + \Delta E_d + \Delta E_T = \Delta E_{дис} \quad (2)$$

Накопление тепла Q и рост энтропии S^H ($S^H = \frac{P_z \cdot V}{T}$) в системе изменяют условия смазки, вызывают температурные деформации деталей, способствующие скачкообразному перемещению подвижных

частей в узлах, и обуславливают релаксационные автоколебания. В свою очередь, вибрации упругой системы существенно влияют на точность и качество обрабатываемых деталей, что определяется не только жесткостью стыков, но и демпфирующими свойствами колебательных систем. В этой связи, имеется корреляция между фрактальной размерностью, являющейся диссипативной характеристикой динамической системы, и контактными характеристиками процесса резания (рис. 3, 4), чем меньше фрактальная размерность, тем ниже величины контактных характеристик. Согласно Зореву Н.Н., средний коэффициент трения при резании – это не самостоятельная, а производная характеристика, которая по существу представляет собой отношение двух независимых друг от друга величин - удельной силы трения q_F и удельного нормального давления q_N :

$$\mu = \frac{q_F}{q_N}, \quad (3)$$

где $q_F = \text{const}$, $q_N = f(\varphi)$.

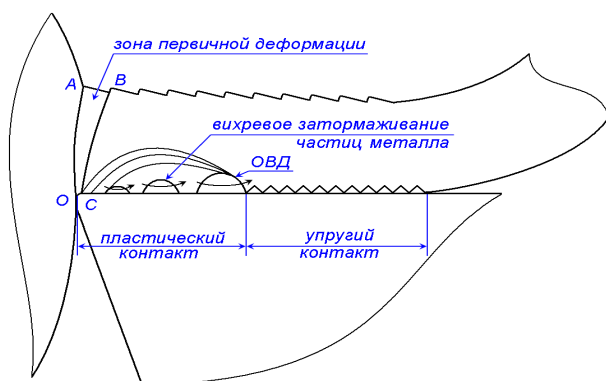


Рис. 11 Схема процесса резания

В этой связи, уменьшение длины контакта, прежде всего пластического (рис.11), способствует росту удельного нормального давления, уменьшению длины контакта с и интенсивности пластических сдвигов в зоне вторичной деформации и угла сдвига текстуры (рис.11).

Устойчивость УСС связывают, главным образом, с жесткостью (податливостью) стыков в динамической системе. Фрикционные свойства контактных поверхностей инструмента не учитываются.

На рис.12 приведены микрофотографии микрорентгеноспектрального анализа контактных поверхностей инструмента из твердого сплава ВК8 без покрытия и с покрытием (AlCr)N при резании стали 45. Из рис.12 видно, что при обработке стали распределение железа на контактной поверхности из сплава ВК8 более активное, чем на поверхности инструмента с покрытием.

Следовательно, фрикционные свойства твёрдого сплава ВК8 и покрытия (AlCr)N существенно различаются. На покрытии AlTiN распределение железа наименьшее.

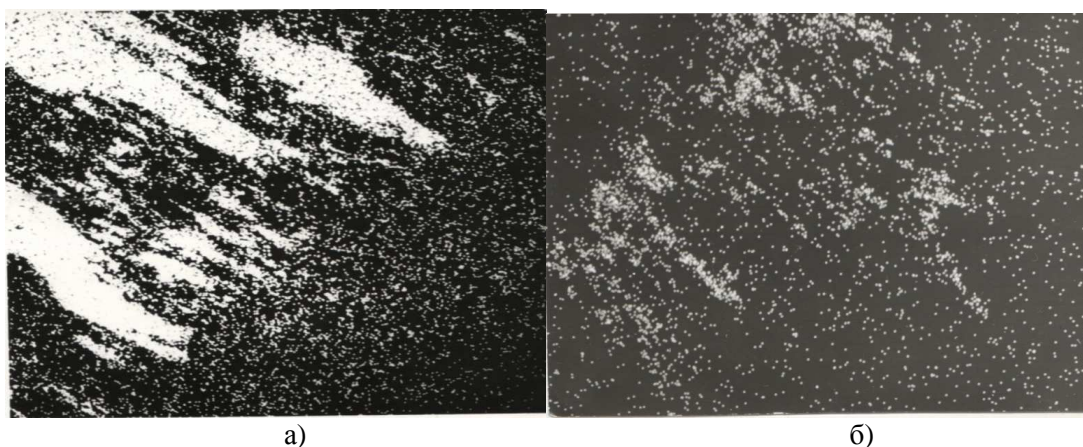


Рис.12. Микрофотографии микрорентгеноспектрального анализа по распределению железа на контактных поверхностях инструмента: а) ВК8; б) с покрытием (AlCr)N.

Металлические связи между твёрдыми телами возникают путём перекрывания внешних валентных электронных оболочек. Квантово-механические расчеты, проведённые проф. Ю.Г. Кабалдиным, показывают, что карбиды WC, TiC в твёрдых сплавах образуют с железом более прочные связи, чем железо с нитридами TiN, NbN и т.д. Связующая фаза – кобальт в твёрдых сплавах более активно взаимодействует с железом, чем карбиды. Как показали исследования, конденсация атомов материала катода в магнетронных установках для осаждения покрытий на инструмент (подложку) происходит по нормальному закону. Так как основная масса конденсирующегося материала поступает по нормали к подложке, то полученные покрытия имели столбчатую, либо зернистую структуру. Диаметр частиц составлял менее 100 нм, что придавало покрытиям особые квантовые свойства. Понятию “нанотехнология” пока не дано исчерпывающего определения, но по аналогии с уже существующими определениями следует, что к нанотехнологиям можно отнести процессы, оперирующие величинами до 100 нанометров. Это ничтожно малая величина в сотни раз меньше длины волны видимого света и сопоставима с размерами атомов. Поэтому переход от “макро” к “нано” понятиям не столько количественный, сколько качественный переход от варьирования процентным содержанием химических элементов в материале к манипуляции отдельными атомами.

Проведенные исследования позволяют связать более высокую работоспособность режущего инструмента с покрытием (AlTi)N (рис.5) как с интенсивностью контактных процессов при резании, зависящей от состава и структуры (рис.2,3) износостойкого покрытия, так и динамической устойчивостью технологической системы, которая может быть охарактеризована фрактальной размерностью (табл.1). В свою очередь, фрактальная размерность существенно зависит от фрикционных свойств контактных поверхностей инструмента. В этой связи, для повышения надёжности процесса резания, разработана система диагностики для станков с ЧПУ его динамической устойчивости, основанная на оценке фрактальной размерности сигнала ВАЭ по мере изнашивания режущего инструмента в режиме реального времени.

Пятая глава посвящена описанию системы диагностики износа режущего инструмента с покрытием на основе оценки значений фрактальной размерности аттракторов ВАЭ сигнала (рис.1) и изложению разработанных составов покрытий, а также результатов их исследования.

Выявленные механизмы изнашивания режущего инструмента показывают, что одним из основных факторов, определяющим работоспособность инструмента, является трещиностойкость покрытия, а также прочность сцепления нижних слоёв покрытия с твёрдосплавной основой и прочность адгезии верхних слоёв покрытия с обрабатываемым материалом.

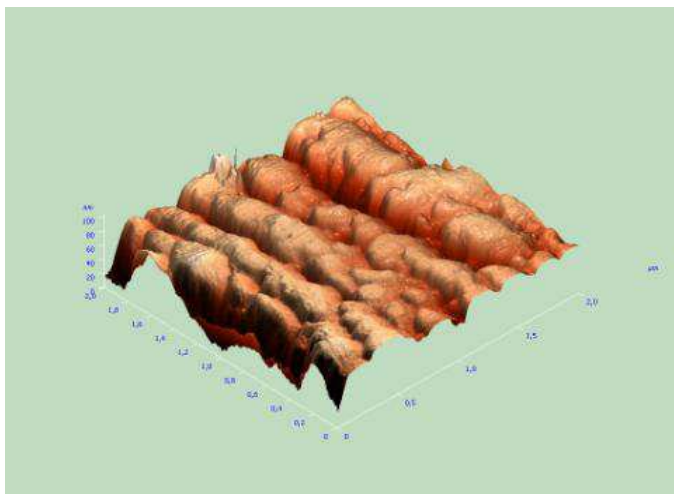
В этой связи, приведено описание патента на режущую пластину с покрытием (полезную модель) (рис. 14) Приведены результаты лабораторных исследований предложенных режущих пластин с различными составами покрытий.

На рис.13 представлены результаты исследования структуры покрытия, выполненные на АСМ по патенту 107987.

Как указывалось выше, метод CVD обеспечивает наибольшую сцепляемость покрытия с основой, однако износостойкие покрытия – это сплошной карбидный или нитридный каркас, т.е. они обладают низкой трещиностойкостью, что и вызывает микроразрушение покрытия в начальный момент резания. Поэтому предложенная конструкция покрытия является многослойной. После осаждения слоёв карбидов и карбонитридов методом CVD, согласно патенту,

осаждается мягкий слой из чистого хрома методом PVD, а затем одно или многоэлементный нитрид.

Средняя высота зёрен



1	69,9242±9,34603 nm
2	73,1041±21,4143 nm
3	85,9873±26,8629 nm

Рис. 13. Микрофотография поверхностной структуры разработанного многослойного покрытия, выполненная на АСМ

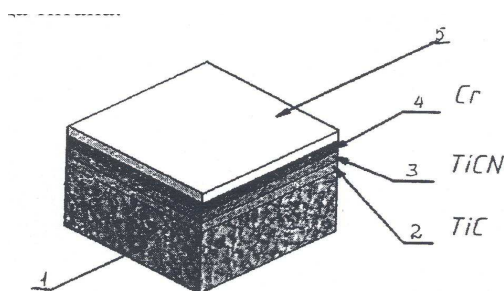


Рис. 14 . Эскиз конструкции режущей пластины

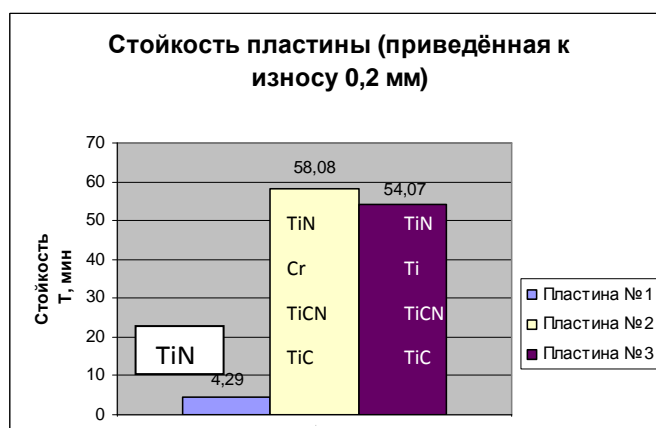


Рис. 15. Результаты стойкостных испытаний разработанного покрытия при обработке 1X18H10T $S_0=0,21\text{мм/об}$, $t=1\text{мм}$ $V=200\text{м/мин}$

Наличие мягкого слоя перед верхним слоем нитридного слоя обеспечивает торможение трещин из верхнего слоя в нижние слои. В результате трещиностойкость покрытия возрастает. Кроме того, в процессе осаждения в верхнем слое покрытия, вследствие его малой толщины формируются наноструктурные зёрна нитридов (рис.13).

Результаты лабораторных испытаний разработанного покрытия и инструмента, включающего слои TiC-TiCN-Cr-TiN, при обработке нержавеющей стали 1X18H10T приведены на графике (рис. 15).

В заключении приводятся основные результаты работы:

1. Проведён анализ методов и составов существующих износостойких покрытий для режущего инструмента с целью повышения эффективности процесса резания. Показано, что наиболее перспективным направлением в технологии обработки материалов является использованием режущего инструмента с наноструктурным составом покрытий.

2. С использованием сканирующего электронного микроскопа, микрорентгеноспектрального анализа, силового электронного микроскопа экспериментально установлено, что при формировании многоэлементных и многослойных покрытий на режущем инструменте достигается наноструктурный размер зёрен.

3. Установлено, что использование режущего инструмента с наноструктурными покрытиями способствует снижению сил резания, усадки и других деформационных характеристик срезаемого слоя, что обеспечивает снижение энергоёмкости процесса резания и повышению его эффективности.

4. Показано, что при обработке легированных и конструкционных сталей наибольшая стойкость инструмента, наименьшие силы резания и наивысшая устойчивость процесса резания достигается при использовании режущего инструмента с наноструктурными двухэлементными или многослойными покрытиями.

5. На основе анализа виброакустического сигнала при резании построены аттракторы динамической системы обработки резанием. Показано, что использование инструмента с наноструктурным покрытием способствует снижению величины фрактальной размерности аттракторов виброакустического сигнала при резании. Анализ энергетических соотношений при резании позволил констатировать, что система резания – диссипативная динамическая система. Снижение интенсивности процессов деформации в системе резания, прежде всего в зоне пластического контакта стружки с инструментом за счёт снижения сил трения, способствует повышению устойчивости резания.

В этой связи, для повышения надёжности и эффективности процесса резания, разработана система диагностики для станков с ЧПУ его динамической устойчивости, основанная на оценке фрактальной размерности сигнала ВАЭ по мере изнашивания режущего инструмента в режиме реального времени.

6. Исследован механизм разрушения покрытий, вызывающий изнашивание режущего инструмента с покрытием в процессе резания. Показано, что в начальный момент резания происходит

трещинообразование покрытия, а затем отрыв его частиц. Частицы покрытия могут залегать в местах вырыва зёрен карбидной фазы твёрдосплавной основы и тем самым упрочнять её, способствуя повышению сопротивляемости изнашиванию на участке «нормального» износа. На основе выявленного механизма изнашивания инструмента, разработаны новые составы наноструктурных покрытий.

7. Установлено, что разработанные составы износостойких покрытий, защищенных патентом РФ №107987, при точении нержавеющей стали 1Х18Н10Т обеспечивают повышение стойкости режущего инструмента в несколько раз.

8. Проведены производственные испытания режущего инструмента в условиях действующего производства ООО «Нижегородские моторы». Достигнуто повышение стойкости режущего инструмента в четыре раза по сравнению с инструментом без покрытия.

В Приложениях к диссертации приведены акты производственных испытаний, алгоритмы расчета фрактальной размерности аттракторов технологической системы.

Основные результаты диссертации изложены в следующих работах:

1. Кабалдин Ю.Г., Серый С.В., Муравьев С.Н., Симагина Е.В. Повышение работоспособности режущего инструмента осаждением наноструктурных покрытий // Вестник машиностроения. – 2010.- №3., С.46-51
2. Yu.G. Kabaldin, S.V. Seryi, S.N. Murav'ev, A.A. Prosolovich, and E.V. Simagina. Improving Cutter Performance by the Application of Nanostructural Coatings // Russian Engineering Research. - 2010. Vol.30. No.3, pp. 235-242.
3. Кабалдин Ю.Г., Серый С.В., Симагина Е.В., Уткин А.В. Оптимизация составов и функциональных свойств наноструктурных покрытий для режущего инструмента методом функционала электронной плотности// Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2011. - № 2 (87), С. 88-93.
4. Симагина Е.В., Агабеков Ю.В. Повышение работоспособности режущего инструмента с наноструктурными покрытиями// Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2010. - № 2 (81), С. 98-104
5. Патент РФ №107987 на полезную модель «Режущая пластина».

Научное издание

ВЕЛЬМЕСЕВА Елена Витальевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ
ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА С
НАНОСТРУКТУРНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 20.04.2012. формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет.
Типография НГТУ.
Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, ГСП-41, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.