

На правах рукописи



Ситамов Эрадж Сикандарович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЁТ
РАЗРАБОТКИ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СМЕННЫХ ТИПОВЫХ
ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН**

Специальность 05.02.07 – Технология и оборудование
механической и физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Комсомольск-на-Амуре, 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет (ФГБОУ ВО «КнАГУ»)

Научный руководитель

Мокрицкий Борис Яковлевич, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет». г. Комсомольск-на-Амуре.

Официальные оппоненты:

Наумов Александр Геннадьевич, Почётный работник науки и техники Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры «Пожарная безопасность объектов защиты» ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», г. Иваново.

Никитенко Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологическая информатика и информационные системы» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (г. Хабаровск).

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»), г. Иркутск

Защита состоится 27 апреля 2021 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.092.01 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КнАГУ») по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, ауд. 201/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-Амуре государственный университет» и на сайте https://sovet.knastu.ru/diss_defense/show/158.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные гербовой печатью организации, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета, а также на электронную почту diss.material@yandex.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.т.н.



Проценко Александр Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В условиях бурного роста, требований к производительности обработки, к качеству изготовления деталей актуализируется необходимость совершенствования металлорежущего инструмента.

В ряде отраслей отечественного и зарубежного машиностроения сложилось так, что затраты на изготовление инструмента в структуре себестоимости изготавливаемых изделий превышают 10%, что резко снижает эффективность производства. Соответственно, требуются меры по снижению затрат. Известные решения не исчерпали проблему повышения работоспособности инструмента, в том числе проблему совершенствования инструментальных материалов сменных токарных режущих пластин. Эта проблема весьма острая при токарной обработке нержавеющей сталей, особенно специализированных коррозионностойких нержавеющей сталей.

Применительно к токарной обработке для этого в первую очередь необходима разработка новых эффективных инструментальных материалов твёрдосплавных типовых сменных пластин. Особенно для обработки специализированных нержавеющей сталей. Например, для продольного точения заготовок, выполненных из труднообрабатываемой высоко коррозионностойкой стали марки 09X17H7Ю, область применения которой стремительно расширяется. Для сравнения в работе рассмотрены ещё две стали марок 12X18H10T, 13X15H5 AM-3. Они выбраны для исследования потому, что каждая из них является труднообрабатываемой и коррозионностойкой. Имеющиеся рекомендации по их обработке устарели.

Степень разработанности темы

Повышением работоспособности инструмента для обработки нержавеющей сталей занимаются специалисты многих ведущих в мире инструментальных фирм, известные зарубежные и отечественные учёные. Например, Аникин В.Н., Артамонов Б.Б., Безъязычный В.Ф., Бобров В.Ф., Верещака А.А., Верещака А.С., Григорьев С.Н., Евсеев Д.Г., Зорев Н.Н., Кабалдин Ю.Г., Куликов М.Ю., Лоладзе Т.Н., Наумов А.Г., Подураев В.Н., Пономарёв Б.Б., Промтов А.И., Табаков В.П., Питц Г., Трент В., Iochen M., Schneider, Fuch M, Schefftr M., Gunterrez G. и многие другие.

Полученные ими результаты общеизвестны. Но современным требованиям они не соответствуют. Рекомендации зарубежных производителей инструмента разработаны в целом на группу «нержавеющие стали», они не применимы, отказ инструмента происходит на первых минутах резания.

В диссертации предложено повышение периода стойкости сменных типовых твёрдосплавных пластин обеспечить за счёт нанесения новых покрытий, способных существенно повысить период стойкости.

Цель и задачи исследования

Цель: повышение периода стойкости токарного твёрдосплавного инструмента при обработке специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10T, 13X15H5 AM-3 за счёт разработки и применения новых инструментальных покрытий.

Задачи:

1. Разработать покрытия для твёрдосплавных сменных токарных типовых пластин, обеспечивающих повышение периода стойкости более чем на 50% в сравнении с инструментом без покрытия.

2. Выработать рекомендации по выбору параметров режима резания при точении разработанными инструментами.

3. Разработать и обосновать рекомендации по обеспечению качества поверхностей деталей, обработанных инструментом с покрытиями без снижения производительности обработки.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы включает следующие основные положения:

– методология разработки металлорежущего твёрдосплавного инструмента с покрытиями, обеспечивающими повышение периода стойкости в два и более раз в сравнении с инструментом без покрытия при точении специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13X15H5 АМ-3 без снижения производительности обработки и с повышением качества обработанной поверхности. Методология построена на применении метода имитационного исследования, позволяющего создать многовариантные архитектуры покрытий, виртуально смоделировать эксплуатационные свойства инструмента с такими покрытиями, отобрать из них лучшие (по периоду стойкости) конкурентные покрытия, смоделировать ожидаемые величины искомых выходных параметров при тех или иных условиях эксплуатации инструмента;

– критерии (и их параметры) имитационного моделирования инструмента под заданные условия эксплуатации разработанных инструментов. Установлено, что такими критериями являются «температура в зоне резания», «напряжения в инструментальном материале», «деформация инструментального материала», «сила резания», «износ инструмента».

– уточнённый механизм стружкообразования при точении разработанным инструментом. Уточнение связано с изменением положения плоскости сдвига при использовании разных разработанных покрытий. Это позволяет минимизировать образование сливной стружки и обеспечивает повышение качества обработанной поверхности.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическую значимость работы подтверждают следующие основные положения:

– Разработана методология проектирования покрытий твёрдосплавного инструмента применительно к точению специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13X15H5 АМ-3.

– Предложены входные и выходные критерии имитационного проектирования покрытий и их параметры.

Практическую значимость работы подтверждают следующие результаты:

– Разработана последовательность действий (методика) при проектировании покрытий для токарного инструмента под заданные условия его эксплуатации.

- Предложен ряд покрытий, из которых выбраны десять предпочтительных и выделены те, которые обеспечивают прирост периода стойкости в два раза и более до износа 0,5 мм по задней поверхности инструмента.
- Разработаны регрессионные (полиномные) уравнения, характеризующие зависимость величины износа инструмента от времени его работы при точении указанных нержавеющей сталей.

Методология и методы исследования

Сущность методологического подхода к разработке новых инструментов с покрытиями основана на применении имитационного моделирования как метода исследования для предварительного многовариантного проектирования покрытий. Для имитационного моделирования использована программная среда DEFORM, которая базируется на методе конечных элементов. Для моделирования процесса точения был принят ряд упрощений и ограничений. Рассматривалась плоская ортогональная схема свободного резания, представляющая внедрение режущего клина призматической формы в материал заготовки детали. Режущий клин принимали как твёрдое тело, полностью соответствующее форме и геометрии типовой сменной твёрдосплавной пластины. В качестве ограничений были приняты недопущение разрушения покрытия по хрупкому механизму и предотвращение пластической деформации покрытия и субстрата из-за избыточных температур в зоне резания. Установлено достаточным введение следующих входных параметров и условий: физико-механические характеристики обрабатываемых материалов и архитектура (особенности конструкции, состава, технологии нанесения) покрытий инструмента. Установлено достаточным получение выходных прогнозных результатов по параметрам «температура в зоне резания», «напряжения в инструментальном материале», «износ инструмента», что характеризует сложно-напряжённое состояние материала инструмента. Установлено, что соотношение рассмотренных параметров существенно различается для разных инструментов, но тенденция их изменения во всех случаях сходная. Переход от этих параметров к прогнозному проектированию архитектуры покрытий осуществляли путём измерения силы резания при натуральном резании. Значения составляющих силы резания использовали для расчёта напряжений в инструментальном материале по известной зависимости профессора Петрушина С.И. Установлена правомерность такого подхода.

Положения, выносимые на защиту

1. Совокупность разработанных технических решений по разработке твёрдосплавного инструмента с новыми покрытиями, обеспечивающими повышение периода стойкости инструмента при точении специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13X15H5 АМ-3.
2. Методологию проектирования металлорежущего твёрдосплавного инструмента с покрытиями, обеспечивающими повышение периода стойкости в 2 и более раз в сравнении с инструментом без покрытия при точении специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13X15H5 АМ-3 без снижения производительности обработки и с повышением качества обработанной поверхности.

3. Критерии и их параметры для имитационного моделирования инструмента под заданные условия эксплуатации разработанных инструментов. Такими критериями являются «температура в зоне резания», «напряжения в инструментальном материале», «деформация инструментального материала», «сила резания», «износ инструмента».

4. Регрессионные (полиномные) зависимости, характеризующие величину износа разработанных инструментов с разными покрытиями с ростом периода их работы.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность полученных результатов подтверждена хорошим совпадением (в пределах погрешностей измерения периода стойкости инструмента и шероховатости обработанной поверхности) теоретических и экспериментальных данных. Реализация результатов осуществлена передачей рекомендаций к использованию в производстве и внедрением в учебном процессе. Полученные результаты не противоречат общепринятым положениям.

Апробация работы выполнена путём докладов и обсуждения на международных и республиканских научно – технических конференциях (2 заочных доклада на международной конференции (25-26 июня 2020 <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/939/1>) при Новгородском государственном университете им. Ярослава Мудрого; 2 доклада на III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2019г ISBN 978-5-7765-1440-1 ISBN 978-5-7765-1438-8; доклад (в режиме видеоконференции) на научном семинаре кафедры «Технологии и оборудование машиностроительных производств» Иркутского национального исследовательского технического университета 14.01.2021.

Личный вклад автора состоит в разработке и исследовании инструмента путём имитационного моделирования и натуральных экспериментов при резании, в разработке методик и выборе приборного обеспечения исследования, в разработке технических решений повышения стойкости инструмента, в выборе критериев и параметров имитационного моделирования, в проведении экспериментов и обработке их результатов, в опубликовании полученных результатов.

Публикации основные положения работы опубликованы в **15** работах, в том числе, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, – **6** публикаций, в международных базах Scopus, WOS – **3** публикации, на русифицированной площадке Scopus или WOS – **2** публикации.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и выводов, списка использованной литературы, приложения. Объём диссертации составляет 146 страниц, в том числе содержит 63 рисунка, 9 таблиц, 141 источник информации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость повышения периода стойкости инструмента при токарной обработке труднообрабатываемых специализированных нержавеющей сталей.

В первой главе выполнен анализ источников информации по повышению периода стойкости инструмента при токарной обработке нержавеющей сталей. Установлена необходимость разработки новых инструментов для точения специализированных нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10T, 13XH5 АМ-3. Необходимость вызвана тем, что имевшиеся рекомендации по обработке этих сталей устарели.

Во второй главе изложена методология решения задач исследования. Сформулирована гипотеза: повышение периода стойкости инструмента при обработке указанных специализированных труднообрабатываемых коррозионностойких нержавеющей сталей можно обеспечить новыми покрытиями на твёрдосплавном субстрате. Разработана принципиальная блок-схема проектирования такого инструмента.

При проектировании покрытий методом имитационного исследования определялись возможные варианты архитектуры покрытий. В кратком виде сведения о них представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Краткие сведения о диапазоне архитектур исследуемых покрытий

Сведения	Варианты архитектур покрытия
О слоистости покрытий	Двухслойные
	Трёхслойные
	Четырёхслойные
О последовательности расположения слоёв в покрытии	С чередованием слоёв нитридов и карбидов металлов
	С чередованием карбидов, нитридов и карбонитридов металлов
	С вариантами чередования карбидов, нитридов, карбонитридов металлов и их композиций
О толщине слоёв в покрытии	От 0,5 мкм до 5 мкм
О композиционности покрытия	Ti + TiN + (NbZrTiAl)N; TiCN + (TiAl)N + Al ₂ O ₃ + TiC
	Al ₂ O ₃ + TiCN + (TiAl)N + TiN
	(TiAl)N + Al ₂ O ₃ + (TiAl)N + Al ₂ O ₃
	TiN + TiC + TiN + TiC; TiC + TiN + (TiAl)N
	TiCN + TiC + TiN; TiC + TiN; TiN + TiC; TiCN + TiN
О процессе осаждения покрытия	Катодно-ионная бомбардировка (КИБ), газотермическое осаждение, магнетронное распыление и т.д.
	Типовой (по техническим условиям) технологический процесс осаждения слоёв покрытия
	Нанесение слоёв покрытия методом конденсации ионной бомбардировкой (КИБ) с фильтрацией капельной фазы
	Нанесение слоёв покрытия методом конденсации ионной бомбардировкой (КИБ) с фильтрацией капельной фазы и при ассистировании ускоренными ионами

В третьей главе изложена сущность методологического подхода к разработке инструментов с новыми покрытиями. Подход основан на применении имитационного моделирования как метода исследования для предварительного многовариантного проектирования покрытий. Описана методика и результаты проектирования новых инструментов применительно к заданным условиям эксплуатации инструмента.

Для имитационного моделирования использована программная среда DEFORM. Показано, что она за счёт изменения граничных и начальных условий DEFORM позволяет получить многовариантные решения (т.е. вариантов покрытий), из которых затем можно выбрать предпочтительные покрытия.

Объяснено и доказано принятие входных критериев для оценки рациональности проектируемых покрытий. Объяснено и доказано получение выходных критериев, характеризующих сложно-напряжённое состояние инструментального материала, определяющего его разрушение и изнашивание.

Для моделирования процесса точения были приняты упрощения и ограничения. Рассматривалась плоская ортогональная схема свободного резания, представляющая внедрение режущего клина в твердое тело призматической формы. Режущий клин принимали как твердое тело, полностью соответствующее форме и геометрии типовой сменной твёрдосплавной пластины. Примеры скриншотов, отображающие взаимодействие режущего клина с обрабатываемой заготовкой, показаны на рисунке 1.

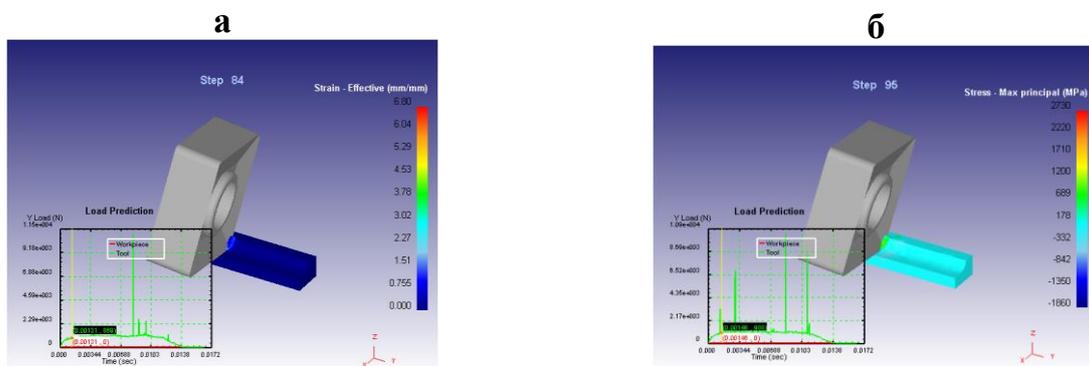


Рисунок 1 – Скриншоты имитационного моделирования точения специализированной нержавеющей стали марки 09X17H7Ю инструментальным твёрдым сплавом марки ВК8 (а) и инструментальным материалом ВК8 + Ti(до 1мкм) + TiN(1мкм) + (NbZrTiAl)N(2,5 мкм)(б) при расчёте максимальных напряжений (МПа)

Анализ серии скриншотов позволил установить, что максимальные напряжения при точении инструментом с покрытием значительно меньше, чем при точении инструментом ВК8 без покрытия.

Особенности имитационного моделирования были связаны с необходимостью учёта того, что каждое покрытие имеет свой коэффициент трения с обрабатываемым материалом. Ограничением принимали недопущение разрушения покрытия по механизму хрупкого разрушения и предотвращению пластической деформации покрытия и субстрата из-за избыточных температур в

зоне резания. Установлено достаточным введение следующих входных параметров и условий: физико-механические характеристики обрабатываемых материалов и архитектура (особенности конструкции, состава, технологии нанесения) покрытий инструмента. Установлено достаточным получение выходных прогнозных результатов по параметрам «температура в зоне резания», «напряжения в инструментальном материале», «износ инструмента». При необходимости дополнительно применяли параметры «деформация материала инструмента», «скорость деформации материала инструмента». Это позволило характеризовать сложно-напряжённое состояние инструмента. Установлено, что соотношение рассмотренных параметров существенно различается для разных инструментов, но тенденция их изменения во всех случаях сходная.

Переход от этих параметров к прогнозному проектированию архитектуры покрытий осуществляли путём контроля силы резания при натуральном резании. Значения составляющих силы резания использовали для расчёта напряжений в инструментальном материале по известной зависимости профессора Петрушина С.И. Установлена правомерность такого подхода.

Это положено в основу методологии проектирования (методом имитационного исследования) металлорежущего твёрдосплавного инструмента с архитектурой (конструкция, состав, толщины слоёв и т.д.) покрытий, обеспечивающих повышение периода стойкости в два и более раз при точении специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10T, 13X15H5 АМ-3 без снижения производительности обработки и с повышением качества поверхности, обработанной предложенным инструментом.

В совокупном виде структурная схема проектирования инструментов представлена на рисунке 2.

По совокупности результатов, полученных при моделировании, сделаны следующие прогнозные выводы:

1. Минимальный период работы твёрдого сплава марки ВК8 без покрытия следует ожидать при точении стали 09X17H7Ю. Максимальный период работы – при точении стали 13X15H5 АМ-3. Различие в периодах работы составит 75 минут. При обработке стали 12X18H10T период работы будет выше в 2 раза, чем при обработке 09X17H7Ю, и в 2,6 раза выше при обработке стали 13X15H5 АМ-3.

2. Разработанные покрытия позволяют повысить период стойкость инструмента в несколько раз (с 45 минут до 140 минут). Величина этого повышения различна для разных покрытий.

Далее показано, что эти прогнозные выводы нашли экспериментальное подтверждение.

В четвёртой главе приведены результаты экспериментальных исследований инструментов, спроектированных при имитационном моделировании.

Обосновано, в связи с чем, в качестве основного критерия оценки рациональности разработанных инструментов использовали период их стойкости до нормированного износа (0,5 мм по задней грани).

Применение только этого критерия принято недостаточным в силу того, что не менее важно не допустить снижения качества поверхности детали после

обработки этими инструментами. Качество обработанной поверхности оценивали по параметрам шероховатости обработанной поверхности детали.

В главе также изложены результаты экспериментального исследования разработанных покрытий (простых двухслойных и наноструктурированных многослойных с той или иной архитектурой покрытий), обеспечивающих

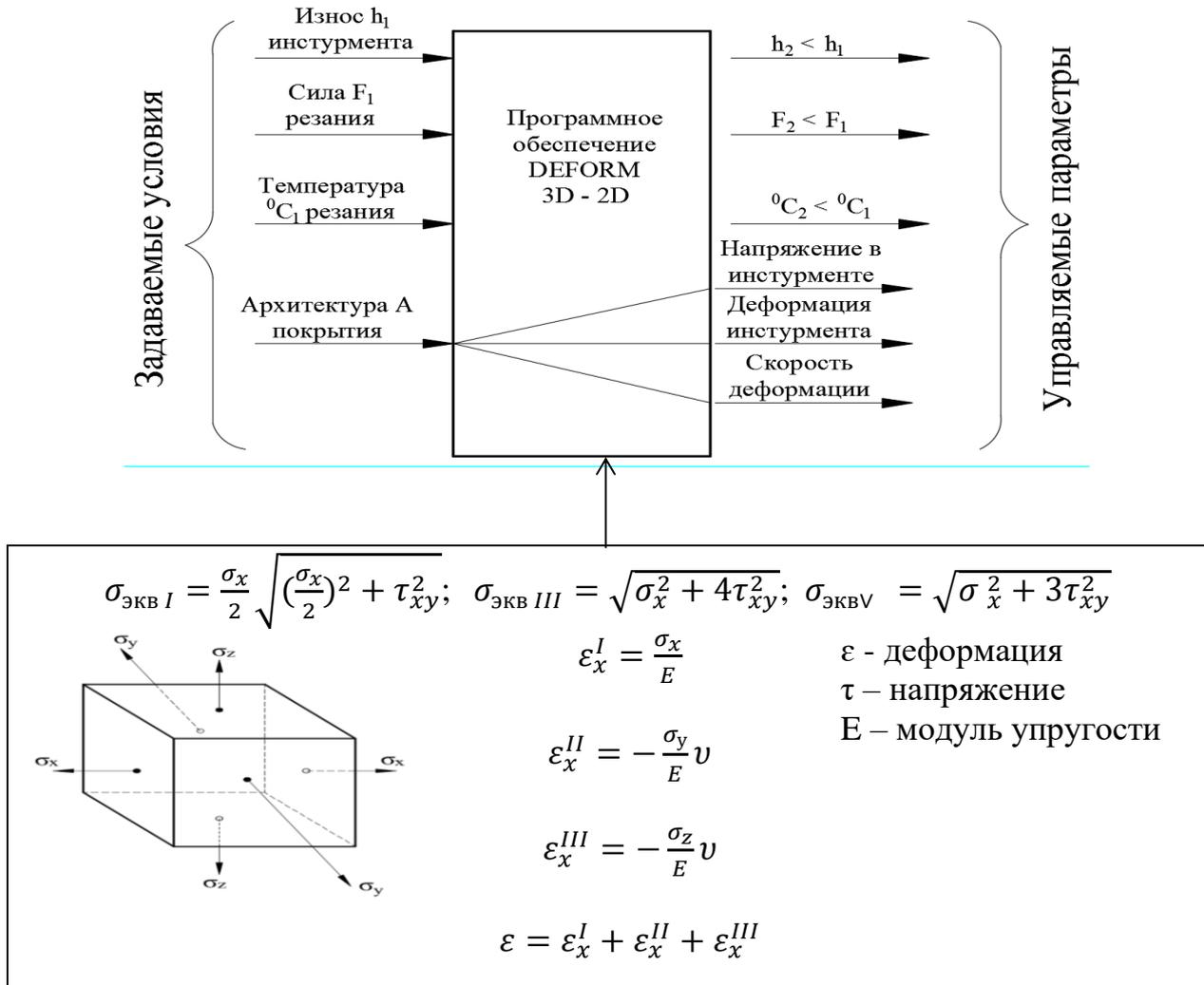


Рисунок 2 – Структурная модель разработки инструмента в программной среде Deform (параметры, обозначения и их размерность общепринятые)

повышение периода стойкости инструмента без снижения производительности обработки и с повышением качества (по параметрам шероховатости) обработанной поверхности.

Кроме того, в главе показано, что изменение разработанных покрытий на инструменте приводит к перестройке (самоорганизации) традиционного вязко-хрупкого механизма отделения стружки в плоскости сдвига на механизм, в котором превалирует доля хрупкого разрушения. Это связано с изменением угла наклона плоскости сдвига. При использовании разработанных покрытий установлено изменение от 4 до 7 градусов в сравнении с инструментом без покрытия. Полученные результаты исследования непостоянства положения плоскости сдвига в зоне резания являются основанием для нового толкования взаимосвязи изменения

параметров волнистости и шероховатости обработанной поверхности с изменением положения плоскости сдвига, что, в свою очередь, даёт новое толкование механизму изменения условий стружкообразования, которые влекут за собой возможность перевода системы резания в условия, при которых снижается доля сливной стружки и существенно (до 80%) растёт доля суставчатой или дроблённой стружки, что целесообразно с позиций снижения травматизма сливной стружкой, трудностями её сбора и транспортировки.

Измерение величин износа выполняли на мультисенсорном измерительном центре (видеоизмерительной системе) модели Mikro Vu Sol 161, обеспечивающей точность измерения до 0,001 мм. Испытания инструментов резанием выполнены на токарном станке модели 16K25 с установкой заготовки в трёхкулачковый патрон и конус задней бабки. Заготовки использовали длиной 600 - 800 мм. Основные испытания проведены при скорости резания 50 мм/мин, подаче 0,21 мм/об.заготовки, при глубинах резания от 0,5 мм до 2,0 мм. Установлено, что изменение скорости резания в пределах от 40 до 60 м/мин существенно влияет на период стойкости инструмента. Погрешность полученных результатов оценивали при дублировании (от трёх до пяти раз) испытаний в каждой контрольной точке. Удовлетворительным считали результат, если погрешность не превышала 10%. Косвенно удовлетворительность результата оценивали стандартным программным обеспечением по дисперсии R^2 при обработке графиков прироста износа по времени. Приемлемой считали дисперсию R^2 более 0,95, рисунок 3.

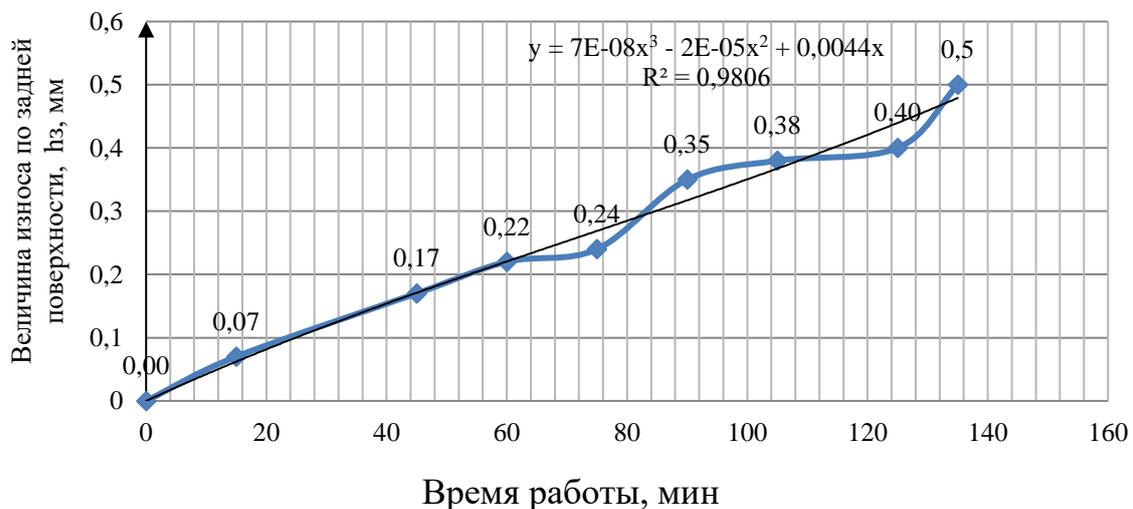


Рисунок 3 – Пример зависимости величины износа от времени работы инструмента (разработанный инструмент VK8 + Ti(до 1мкм) + TiN(1мкм) + (NbZrTiAl)N(2,5 мкм) [нанесение слоёв покрытия методом конденсации ионной бомбардировкой (КИБ) с фильтрацией капельной фазы и при ассистировании ускоренными ионами]), типоразмер (диаметр описывающей окружности 17,5 мм), с отверстием, скорость резания $v=55-50$ м/мин, число оборотов заготовки $n=160$ об/мин, величина продольной подачи $s=0.21$ мм/об, глубина резания $t=1$ мм, обрабатываемый материал: сталь марки 09X17H7Ю)

В диссертации приведены подобные графики для различных разработанных инструментов при обработке различных сталей с различными параметрами режима резания.

Экспериментальному исследованию подвергали ряд разработанных инструментов. Основное внимание (из более чем 30-ти спроектированных покрытий технически осуществить на доступном нам оборудовании смогли осуществить только часть из них) при испытаниях было уделено 10-ти разработанным инструментам (смотри таблицу 3, где цифры в скобках указывают толщину данного слоя покрытия).

По результатам испытаний установлены зависимости износа инструментов от времени их работы. Зависимости описаны регрессионными (полиномными) уравнениями (их примеры показаны вверху и внизу на графике в рисунке 3).

В результате экспериментальных испытаний разработанных инструментов установлено, что их период стойкости существенно отличается.

Также установлено, что период стойкости разработанных инструментов отличается и при обработке других рассматриваемых сталей, рисунок 4.

Из рисунка 4 следует, что применение покрытия повышает период стойкости при обработке любой из указанных сталей. Покрытие Ti + TiN + (TiAl)N позволило при обработке стали 13X15H5 АМ-3 повысить (в сравнении с ВК8) период стойкости со 120 минут до 150 минут, при обработке стали 12X18H10Т с 90 минут до 140 минут.

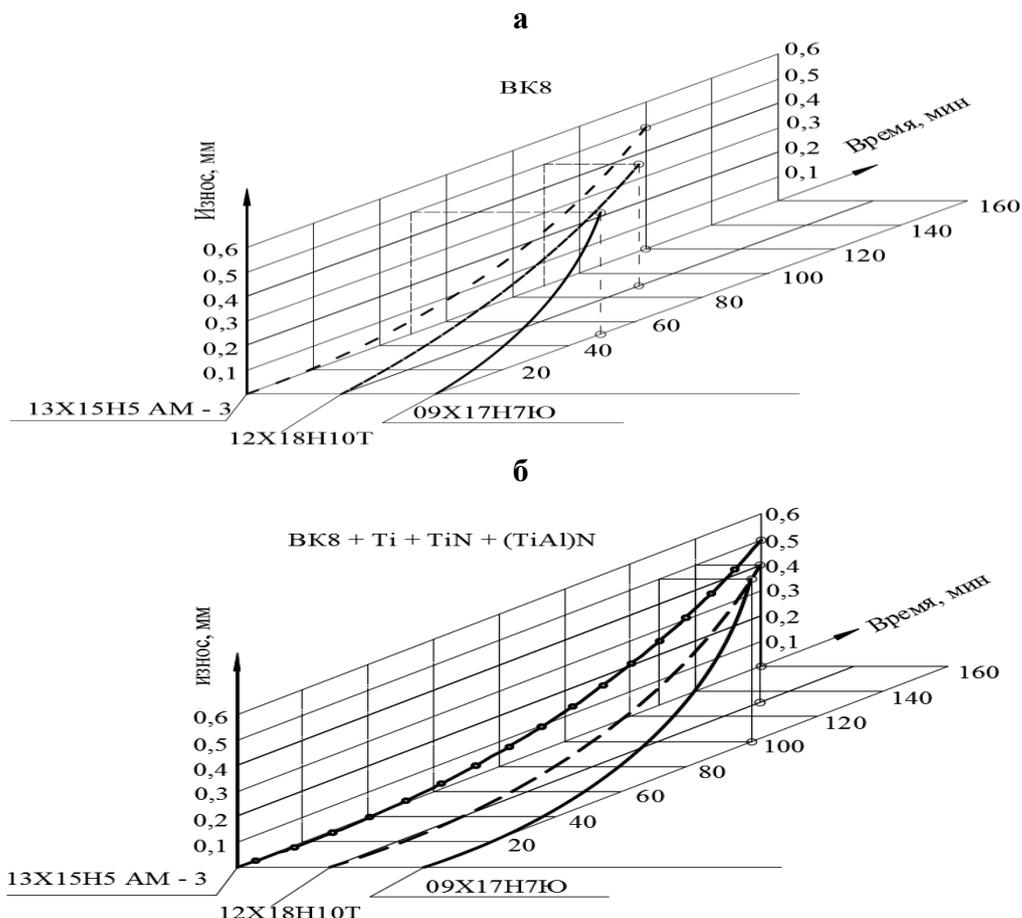


Рисунок 4 – Периоды стойкости (до износа 0,5 мм) инструмента ВК8 (а) и одного из разработанных (б) инструментов при точении разных сталей

При других вариантах покрытий диапазон повышения периода стойкости иной, при наиболее рациональном покрытии TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(5мкм) + TiC(5мкм) при обработке стали 13X15H5 АМ-3 установлено повышение периода стойкости с 90 минут до 185 минут.

На рисунке 5 показано за счёт моделирования каких (температура, напряжения, деформация, износ) прогнозируемых параметров получено совпадение экспериментальных и прогнозных результатов.

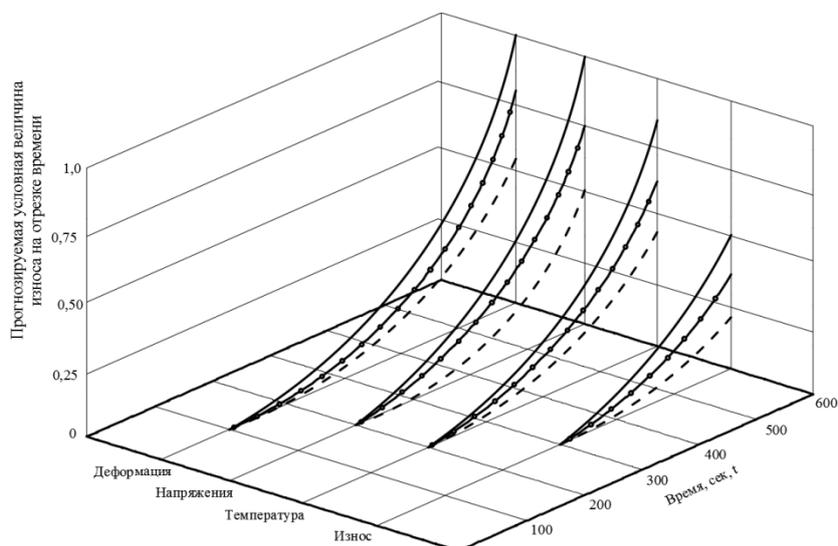


Рисунок 5 – Прогнозируемое соотношение исследуемых параметров (условного износа, температуры, напряжения, деформации) при использовании инструментальных материалов: сплошная линия – материал инструмента ВК8; сплошная с точками - ВК8 + TiCN+ TiN; штриховая линия - ВК8 + TiC + TiN + (TiAl)N

Изложенные выше результаты указывают, что цель диссертационной работы достигнута, задачи по её достижению решены.

Это позволило сформулировать следующие выводы:

1. Разработаны новые инструменты (ВК8 + покрытие) для точения специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13X15H5 АМ-3. Они позволяют повысить период стойкости инструмент в 2 и более раз по сравнению с ВК8 без покрытия. Спроектирована архитектура более 30 покрытий. Из числа разработанных инструментов отобрано десять с различными покрытиями, от простейшего покрытия до многослойных наноструктурированных покрытий, таблица 2.

2. Указанная последовательность расположения инструментов по периоду их стойкости совпала с той, которая была спрогнозирована по результатам имитационного моделирования. Такое совпадение полученных результатов позволяет заключить, что используемые при имитационном моделировании последовательность (методика) действий, критерии и их параметры выбраны верно.

Установлено, что достаточно в качестве критериев использовать «температуру в зоне резания», «напряжения в инструментальном материале»,

«деформацию инструментального материала», «силу резания» и «износ инструмента».

3. Разработаны рекомендации по назначению параметров режима резания, обеспечивающих точение указанных сталей разработанными инструментами.

Таблица 2 – Прирост периода стойкости разработанных инструментов при обработке 09X17H7Ю

№ п/п	Инструмент	Величина прироста периода стойкости	
		минут	раз
При глубине резания 1 мм и скорости резания 50 м/мин			
1	BK8+TiCN + (TiAl)N + Al ₂ O ₃ + TiC	140	3,10
2	BK8+Al ₂ O ₃ + (Ti)CN + (TiAl)N + TiN	130	2,90
3	BK8 + (TiAl)N + Al ₂ O ₃ + (TiAl)N + Al ₂ O ₃	125	2,80
4	BK8 + TiCN + (TiAl)N + Al ₂ O ₃ + TiC	120	2,65
5	BK8 + Ti + TiN + (NbZrTiAl)N	115	2,55
6	BK8 + Ti + TiN + (TiAl)N	100	2,20
7	BK8 + TiN + TiC + TiN + TiC	100	2,20
8	BK8 + TiCN + (TiAl)N + TiN	95	2,10
9	BK8+TiC + TiN + (TiAl)N	90	2,00
10	BK8 + TiCN + TiC + TiN	80	1,75
11	BK8 + TiCN + TiN	70	1,55
12	BK8 + TiC + TiN	70	1,55
13	BK8 + TiN(2мкм) + TiC(5мкм)	60	1,35
14	BK8 + TiN(0,5мкм) + TiC(1мкм)	55	1,20
15	BK8 (базовый вариант)	45	-
При глубине резания 2 мм и скорости резания 60 м/мин			
16	BK8 (базовый вариант)	15	-
17	BK8 + TiCN + (TiAl)N + TiN	26	1,75
18	BK8 + TiCN + (TiAl)N + Al ₂ O ₃ + TiC	35	2,40
Значения периода стойкости для удобства анализа округлены до 5 минут, значения раз изменения периода стойкости округлены до двух знаков после запятой.			

Наряду с полученными выводами сочтено необходимым:

а) выполнить отдельные материаловедческие исследования разработанных покрытий (чтобы убедиться, что полученная при нанесении покрытий архитектура покрытий именно такая, какая получена при имитационном моделировании);

б) выполнить оценку качества поверхности, обработанной инструментами с разными покрытиями (чтобы убедиться, не ухудшилось ли качество обработанной поверхности по параметрам её шероховатости).

Установлено, что для различных выбранных ранее архитектур инструментальных покрытий значения шероховатости обработанной поверхности различаются существенно. Для случая точения стали 09X17H7Ю это показано в таблице 3. Исследовали шесть параметров шероховатости: общепринятые Ra и Rz, дополнительные Rq, Rt, Rp, R3z, характеризующие особые свойства микрорельефа обработанной поверхности. Из таблицы следует: для всех разработанных инструментов соотношение B1/B2 всегда более единицы и достигает значения 1,45,

т.е. параметры шероховатости в этом случае снизилась на 45%. Эти данные позволяют выбрать покрытие, наилучшим образом отвечающее требованиям

Таблица 3 – Сопоставление влияния архитектуры покрытия инструмента на параметры шероховатости обработанной поверхности при точении стали 09X17H7Ю

№ п/п	Инструментальный материал	Параметр шероховатости	Значения соотношения В1/В2 параметров
1	BK8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al ₂ O ₃ (5мкм) + TiC(5мкм)	Ra	1,46
		Rz	1,25
2	BK8+Al ₂ O ₃ (2мкм) + (Ti)CN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(3мкм)	Ra	1,26
		Rz	1,24
3	BK8 + (TiAl)N(3мкм) + Al ₂ O ₃ (3мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al ₂ O ₃ (3мкм)	Ra	1,19
		Rz	1,10
4	BK8 + TiN(3мкм) + TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + TiC(3мкм)	Ra	1,16
		Rz	1,09
5	BK8+TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + (TiAl)N(2мкм)	Ra	1,14
		Rz	1,09
6	BK8 + TiCN(2мкм) + TiC(3мкм) + TiN(1,5мкм)	Ra	1,14
		Rz	1,07
7	BK8 + TiC(1,5 мкм) + TiN(3мкм)	Ra	1,13
		Rz	1,06
8	BK8 + TiN(2мкм) + TiC(5мкм)	Ra	1,12
		Rz	1,04
9	BK8 + TiCN(0,5мкм) + TiN(1мкм)	Ra	1,11
		Rz	1,03
10	BK8 + TiN(0,5мкм) + TiC(1мкм)	Ra	1,11
		Rz	1,02

Примечание: В1- значение параметра шероховатости для инструментального материала BK8, В2 – для данного инструментального материала.

шероховатости обработанной поверхности деталей, выполненных из сталей 09X17H7Ю. Для сталей 12X18H10Т и 13X15H5-AM3 соотношение В1/В2 имеет значительно большие значения. Для всех рассматриваемых специализированных нержавеющей сталей инструменты BK8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(5мкм) + TiC(5мкм) и BK8+Al₂O₃(2мкм) + (Ti)CN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(3мкм) наиболее рациональны по этому параметру.

Пример результатов контроля шероховатости при обработке разными разработанными инструментами при разных параметрах режима резания показан в таблице 4. Из сведений, приведённых в таблице, следует:

1. Для 1-ого и 2-го режимов резания значения параметров шероховатости Ra и Rz находятся в пределах допустимых для изделий общемашиностроительного назначения. В сравнении с BK8 применение покрытия снизило значения параметров шероховатости Ra и Rz. Значения параметров Rq, Rt, Rp, Rz, отображающих специальные параметры шероховатости, тоже снизились.

2. Для 1-го режима резания применение покрытия привело к повышению периода стойкости инструмента более чем 3 раза в сравнении с ВК8.

Таблица 4 – Соотношение величин параметров (по международному стандарту ISO 4287) шероховатости при изменении глубины резания при точении стали Х17Н7Ю

Номер опыта	Сведения о параметрах режима резания*	Сведения о величинах параметров шероховатости при использовании инструментального материала		Период стойкости инструмента	
		ВК8	ВК8+TiCN(1мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(2мкм)	ВК8	ВК8+TiCN(1мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(2мкм)
1	скорость резания 50 м/мин, подача 0,21 мм/об.заготовки, глубина резания 1 мм.	Ra 5,430 Rq 7,092 Rz 30,905 Rt 31,472 Rp 15,450 R3z 12,654	Ra 5,220 Rq 6,825 Rz 29,054 Rt 29,685 Rp 12,456 R3z 11,658	45 минут	160 минут
2	скорость резания 50 м/мин, подача 0,21 мм/об.заготовки, глубина резания 2 мм.	Ra 6,800 Rq 9,354 Rz 45,320 Rt 48,985 Rp 17,80 R3z 15,545	Ra 5,346 Rq 8,235 Rz 42,116 Rt 44,012 Rp 14,021 R3z 12,565	15 минут	26 минут

* Пластина квадратная, диаметр описывающей окружности 17,5мм



3. Для 2-го режима резания период стойкости снизился для ВК8 и для применённого покрытия. Значения параметров шероховатости возросли. Для ВК8 они выходят за пределы, допустимые для изделий общемашиностроительного назначения, при применении покрытия они находятся в пределах допустимых. Но и в этом случае применение покрытия привело к большему периоду стойкости, чем у ВК8.

4. 2-ой режим нерационален в сравнении с 1-ым режимом ни по параметрам шероховатости, ни по периоду стойкости инструментов.

Установлено, что величины параметров шероховатости неравноценны при точении разными инструментами. Очевидно, это объясняется тем, что существенное уменьшение силы резания при применении покрытий выводит систему «станок – приспособление – инструмент – деталь» на более устойчивое (благоприятное) состояние, что влечёт за собой снижение вибраций и т.д.

Установлено, что при точении разработанными инструментами доля сливной стружки существенно снижена (нежелательность сливной стружки очевидна).

На рисунке 6 показаны примеры влияния разработанных покрытий на образующуюся стружку. Там же для сравнения показана стружка, формировавшаяся при точении пластинами, изготовленными корейской фирмой Karloy Inc. Именно они выбраны для сравнения потому, что обеспечивали хорошее стружкодробление из всех вариантов применённых пластин зарубежных фирм (Sandvik coromant (Швеция), Walter (Германия), Mitsubishi (Япония)). Следует отметить, что она имела другую геометрию стружкозавивающей канавки, что приводило к повышению силы резания.

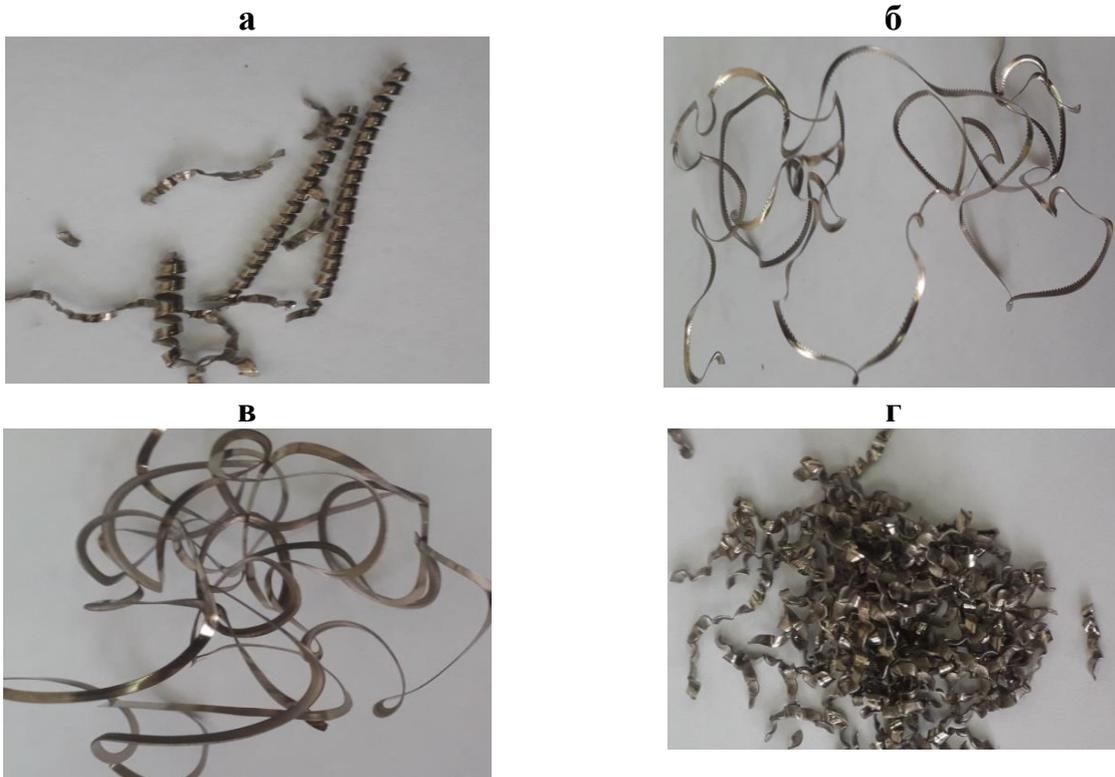


Рисунок 6 – Примеры стружек, формировавшихся при использовании инструмента с разными разработанными покрытиями

Из испытанных пяти квадратных пластин фирмы Karloy Inc разброс периода стойкости составлял от 20 минут до 60 минут. В пределах одной пластины все четыре режущих кромки показывали разброс от 20 минут до 40 минут. Самая лучшая пластина на одной из кромок показала период стойкости 65 минут.

Дополнительные исследования при резании поверхностей с разной волнистостью и шероховатостью показали, что использование таких покрытий приводит к изменению положения плоскости сдвига. Визуально это наблюдается как смена процесса образования сливной стружки (которая не желательна) на дроблённую или суставчатую стружку. Исследованием корней стружек установлено разное положение (и протяжённость) плоскости сдвига при применении разных покрытий. Очевидно, это связано с изменением контактных явлений на передней поверхности инструмента при применении разных покрытий. Активность этих контактных явлений зависит от применяемого покрытия, а именно от его барьерной роли. Варианты изменения положения плоскости сдвига при применении разных покрытий показаны на рисунке 7.

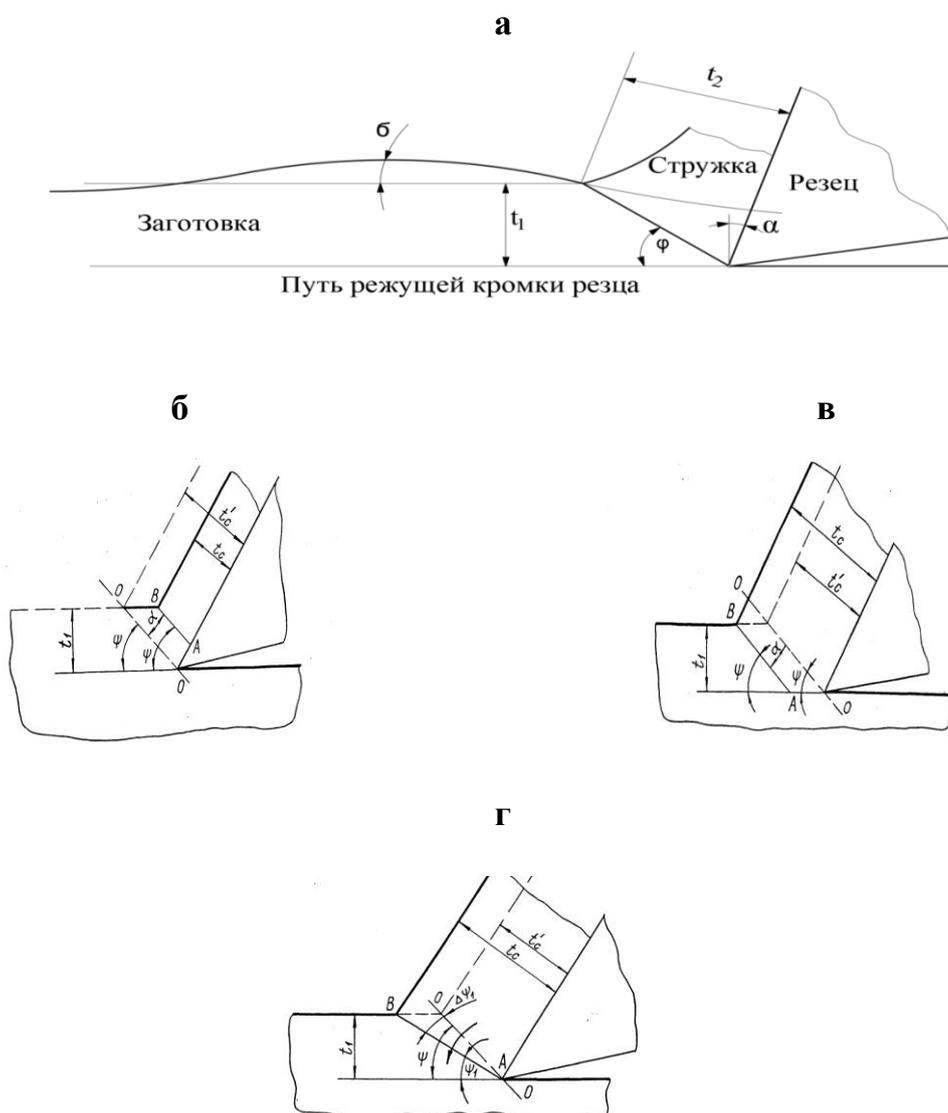


Рисунок 7 – Принятая схема анализа особенностей процесса стружкообразования при использовании разных разработанных инструментов: **а** – идеализированная схема срезания волнистости; **б** – стружкообразование при смещении плоскости сдвига «в металл заготовки»; **в** – стружкообразование при смещении плоскости сдвига «в металл стружки»; **г** – стружкообразование при повороте плоскости сдвига «в металл заготовки». Обозначение угла сдвига φ на рисунке **а** и угла сдвига ψ на рисунках **б**, **в** и **г** обозначены по разному для удобства анализа

Установлено, что плоскость сдвига изменяется в разных диапазонах в зависимости от применяемого покрытия. Угол наклона плоскости сдвига к идеализированному положению увеличивается на 4 – 7 градусов в сравнении с ВК8. Экспериментальное исследование шлифов корней стружек (использован мультисенсорный измерительный центр модели Mikro Vu Sol 161, имеющий высококачественную оптику фирмы Цейс с высокой разрешающей способностью и обеспечивающей точность измерения до 0,001 мм) показало, что в зависимости от

применяемого покрытия инструмента изменяется частота стружкообразования, а также положение и протяжённости плоскости сдвига. Установлено, что при замене инструментального материала с ВК8 на ВК8 + TiN + TiC угол наклона плоскости сдвига изменился на 4 градуса, а при использовании инструмента ВК8+TiCN + (TiAl)N + Al₂O₃ + TiC угол наклона плоскости сдвига изменился на 7 градусов.

Результаты исследования непостоянства положения плоскости сдвига в зоне резания являются основанием для нового толкования взаимосвязи изменения параметров волнистости и шероховатости обработанной поверхности с изменением положения плоскости сдвига, что, в свою очередь, даёт новое толкование механизму изменения условий стружкообразования, которые влекут за собой вынужденный переход системы резания с дроблёной стружки на сливную стружку и наоборот. Это, очевидно, обусловлено изменением вязко-хрупкого механизма отделения стружки в плоскости сдвига на иной механизм, в котором превалирует доля хрупкого разрушения. Доля этого хрупкого разрушения разная для разных инструментальных материалов.

Установлено, что пластины остальных указанных выше зарубежных производителей не обеспечивали того периода стойкости, который можно было ожидать исходя из рекомендаций, приводимых в каталогах фирм. Более того, такие пластины выходили из строя на первых минутах резания с реализацией термомеханического механизма разрушения, что обычно связано с существенным превышением скорости резания, которая рациональна для данного инструмента. В результате исследования спроектировано более 30 вариантов покрытий для квадратных пластин, выполненных из инструментального твёрдого сплава марки ВК8.

Технологически из них удалось изготовить 18 покрытий. Применительно к точению исследуемых специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10Т и 13X15Н АМ-5 как наиболее доступные в изготовлении на промышленных типовых установках для нанесения покрытий отобраны десять покрытий. В порядке убывания периода стойкости они (и их вариации) расположены ниже:

1. TiCN + (TiAl)N + Al₂O₃ + TiC;
2. ВК8+Al₂O₃ + (Ti)CN + (TiAl)N + TiN;
3. (TiAl)N + Al₂O₃ + (TiAl)N + Al₂O₃;
4. TiCN + (TiAl)N + Al₂O₃ + TiC;
5. Ti + TiN + (NbZrTiAl)N;
6. Ti + TiN + (TiAl)N;
7. TiN + TiC + TiN + TiC;
8. TiCN + (TiAl)N + TiN;
9. TiCN + TiC + TiN;
10. TiCN + TiN;
11. TiC + TiN;
12. TiN(2мкм) + TiC(5мкм);
13. TiN(0,5мкм) + TiC(1мкм).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена разработке архитектуры многослойных покрытий для твердосплавных пластин металлорежущего инструмента. Решена актуальная научно-техническая задача, направленная на повышение периода стойкости металлорежущих инструментов при обработке специализированных нержавеющей сталей. В результате исследования получены следующие научные и практические результаты:

1. Установлена возможность адаптирования программной среды Deform под задачи диссертационной работы, что позволило использовать её как метод исследования. В результате минимизировано число (а именно допустимая величина износа инструмента, допустимая величина силы резания, вариант архитектуры покрытия, физико-механические характеристики обрабатываемой стали) задаваемых входных параметров для получения необходимого количества выходных параметров (а именно прогнозируемые величины износа инструмента, силы резания и температуры резания, напряжения в инструментальном материале, его деформация и скорость деформации).

2. Получены критерии имитационного моделирования, обеспечивающие получение необходимых выходных параметров проектирования инструмента. Критерии позволяют проектировать несколько вариантов архитектуры (мало- (два) и много- (четыре и более)) слойных покрытий, конкурирующих между собой по периоду стойкости инструмента и по качеству обработанной поверхности заготовки детали. Установлено, что для условий течения указанных специализированных нержавеющей сталей управление периодом стойкости инструмента можно осуществить за счёт архитектурирования покрытия, т.е. путем виртуального проектирования состава и структуры слоёв покрытий, количества слоёв и порядка их чередования, толщин слоёв.

3. Установлено, что изменение разработанных покрытий на инструменте приводит к перестройке (самоорганизации) традиционного вязко-хрупкого механизма отделения стружки в плоскости сдвига на механизм, в котором превалирует доля хрупкого разрушения. Это связано с изменением угла наклона плоскости сдвига. При использовании разработанных покрытий установлено изменение от 4 до 7 градусов в сравнении с инструментом без покрытия. Полученные результаты исследования непостоянства положения плоскости сдвига в зоне резания являются основанием для нового толкования взаимосвязи изменения параметров волнистости и шероховатости обработанной поверхности с изменением положения плоскости сдвига, что, в свою очередь, даёт новое толкование механизму изменения условий стружкообразования, которые влекут за собой возможность перевода системы резания в условия, при которых снижается доля сливной стружки и существенно (до 80%) растёт доля суставчатой или дроблённой стружки, что целесообразно с позиций снижения травматизма сливной стружкой и с улучшением условий её сбора и транспортировки.

4. Установлено, что для выбора необходимого режущего инструмента достаточно использовать критерии «температура в зоне резания», «напряжения в инструментальном материале», «деформация инструментального материала», «сила резания» и «износ инструмента». Это позволяет обеспечить многовариантное

проектирование архитектур покрытий для последующего отбора из них наиболее рационального под конкретные условия эксплуатации.

5. Установлено, что для рассматриваемых специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13X15H5 АМ-3 наиболее рациональными и конкурирующими между собой являются инструменты ВК8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(5мкм) + TiC(5мкм), ВК8+Al₂O₃(2мкм) + (Ti)CN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(3мкм) и ВК8 + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(3мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al₂O₃(3мкм). Они обеспечивают повышение периода стойкости инструментов в 2 и более раз в сравнении с инструментом без покрытия.

6. Практическая значимость работы подтверждена принятием разработанных рекомендаций в производство промышленных предприятий и внедрением в учебный процесс.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С., Серебренникова А.Г. Повышение работоспособности твёрдосплавного режущего инструмента за счёт нанесения покрытий// Вестник ИрГТУ 2019 Том 23 №2 с.246-251 / Proceedings of ISTU 2019 Vol. 23 №2 pp.246-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-246-251>.

2. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я., Шакирова О.Г. Оценка износостойкости твёрдосплавного инструмента при обработке нержавеющей стали//Учёные записки КнАГУ, №3-1(39). 2019, С. 109-112.

3. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Результаты сравнительного исследования износостойкости твёрдосплавного инструмента при обработке нержавеющей стали// Металлообработка №4 (106), 2018, С. 7 – 13.

4. Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С., Мокрицкая Е.Б. Сравнительное исследование работоспособности твёрдосплавного режущего инструмента при обработке заготовок деталей, выполненных из нержавеющей стали// Проблемы машиностроения и автоматизации. №4. 2018. С.76-79.

5. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Экспериментальная оценка влияния формы режущей пластины проходного токарного резца на её период износостойкости при обработке нержавеющей стали// Учёные записки КнАГУ, 2018, №4, С. 75-78.

6. Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С. Имитационное моделирование процесса токарной обработки// Вестник машиностроения, 2021, №2, с. 77-80. DOI: 10.36652/0042-4633-2021-2-77-81.

В изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus:

1. B. Ya. Mokritsky, E. S. Sitamov, V. N. Belyakov and I. M. Zawadzki. Results of testing the rationality of tool materials using the experimental method and the method of simulation modeling. Материалы (публикация №120051) в сб. (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering) международной конференции (25-26 июня 2020 г <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/939/1>) при Новгородском государственном университете им. Ярослава Мудрого. Публикация от 7 окт 2020.

IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 939 (2020) 012051 IOP Publishing.
DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012051.

2. В. Ya. Mokritsky, E. C. Sitamov, I. G. Arendatelev and I. M. Zawadzki. Assessment results of the dependence of the processed surface quality on the applied tool material. Материалы публикации № 12050 в сборнике (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering) международной конференции (25-26 июня 2020 г <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/939/1>) при Новгородском государственном университете им. Ярослава Мудрого. Публикация от 7 окт 2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 939 (2020) 012051 IOP Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012050.

3. В. Ya. Mokritskii, O.G. Shakirova, A.F. Sosnin, E.S. Sitamov, and A.I. Erukov. Estimation of the Results of Predictive Simulation of a Rational Cutting Material. ISSN 0036-0295, Russian Metallurgy (Metallu), Vol. 2020, №13, pp.161-166. Pleiades Publishing, Lid., 2020/ Russian Text, The Author(s), 2019, published in Tekhnologiya Metallov, 2019, №9, pp.20-26. DOI: 10.1134/S003602952013026.

В российских изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и WoS:

1. Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С., Верещагин В.Ю., Шакирова О.Г. Управление выбором упрочнённого инструмента на основе моделирования в программной среде DEFORM.//Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Том 15, №6. С.249 – 251.

2. Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С. Оценка работоспособности токарных резцов с разными покрытиями при обработке стали 09Х17Н7Ю // Упрочняющие технологии и покрытия. 2018. Том 14. № 10 (166). С. 447 – 449.

В прочих изданиях:

1. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Работоспособность металлорежущего инструмента при обработке нержавеющей сталей во взаимосвязи с анализом сил резания// материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2019г.: в 4 ч. /редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.)[и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019. – Ч.1 – 508 с.

2. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Разработка трёхмерной модели процесса резания в программном обеспечении DEFORM 3DDEVELOPMENT// материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2019г.: в 4 ч. /редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.)[и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2029. – Ч.1 – 484 с. (С. 135 - 137).

3. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Результаты сравнительного исследования износостойкости твёрдосплавного инструмента при обработке коррозионно-стойкой стали// Металлообработка, №4 (106). 2018 С. 7-13.

4. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Разработка трёхмерной модели процесса резания в программном обеспечении DEFORM 3DDEVELOPMENT// материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2019г.: в 4 ч. /редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.)[и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2029. – Ч.1 – 484 с. (стр. 135 – 137).

Ситамов Эрадж Сикандарович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЁТ
РАЗРАБОТКИ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СМЕННЫХ ТИПОВЫХ
ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 26.02.2021.

Формат 60×84 1/16. Бумага 65 г/м². Ризограф RISO EZ 570E.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,30. Тираж 100 экз. Заказ» 20244.

Полиграфическая лаборатория
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Комсомольский – на – Амуре государственный университет»
681013, Комсомольск – на - Амуре, пр. Ленина, 27.