

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Иркутский национальный исследовательский  
технический университет»,  
Кандидат геолого-минералогических наук, доцент

— Кононов А.М.

«30» Июня 2021 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на диссертационную работу **Ситамова Эраджа Сикандаровича**, выполненную на тему «Повышение эффективности токарной обработки специализированных нержавеющей сталей за счёт разработки покрытий для сменных типовых твёрдосплавных пластин» и представленную к защите по научной специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

#### **Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертационная работа направлена на совершенствование токарной обработки заготовок деталей, выполненных из специализированных коррозионностойких нержавеющей сталей.

Нержавеющие стали широко применяются в различных отраслях промышленности. В силу высокой коррозионной стойкости данных сталей их

востребованность растет в авиа- и судостроении, в морских портовых сооружениях, нефте- и газодобывающих платформах и т.д. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей достигается за счет легирования хромом и никелем. Однако эти химические элементы, особенно в больших количествах (в нержавеющей сталях содержание хрома достигает 15...18%, никеля – 5...10%) приводят к существенным трудностям при механической обработке таких сталей.

Одним из путей повышения эффективности процессов изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов является увеличение периода стойкости режущего инструмента путем разработки новых покрытий, наносимых на твёрдосплавные сменные пластины. Данной проблемой занимались ведущие российские и зарубежные исследователи. Их достижения значимы, но требуют развития и совершенствования.

Основное внимание в работе уделено изучению процесса продольного точения заготовок, выполненных из стали 09X17H7Ю. Дополнительно рассмотрена обработка заготовок из сталей 12X18H10T и 13X15H5 АМ-3. Объектом исследования являлись типовые сменные пластины из твёрдых сплавов, идентичных российским маркам ТТК8Б, ВК8. Период стойкости такого инструмента при точении стали 09X17H7Ю не превышает 40 мин. Применение традиционных покрытий на режущих пластинах позволяет увеличить период стойкости до 50 минут. Такой период стойкости инструмента неприемлем для современного металлорежущего оборудования, эффективность которого должна и может быть обеспечена периодом стойкости в несколько часов.

Работа Ситамова Э.С. направлена на решение ряда вопросов, связанных с разработкой конструкции (структуры) многослойных наноструктурированных покрытий, наносимых на инструмент с целью повышения их эксплуатационных свойств, в том числе периода стойкости инструмента при токарной обработке специализированных нержавеющей

сталей, что обосновывает актуальность выполненного диссертационного исследования.

### **Общая характеристика диссертации**

Диссертационная работа изложена на 146 страницах, в том числе содержит 63 рисунка, 9 таблиц, 141 источник информации.

**Во введении** обоснована актуальность решения задачи 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 труднообрабатываемых сталей. Установлена необходимость разработки новых инструментов для точения специализированных нержавеющей сталей марок 09X17H7Ю, 12X18H10Т, 13ХН5 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.

**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 путем изменения граничных и начальных условий

DEFORM позволяет получить многовариантные решения, т.е. варианты покрытий, из которых затем можно выбрать предпочтительные.

Обосновано 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.

**В четвёртой главе** приведены результаты экспериментальных исследований инструментов, спроектированных на основе имитационного моделирования.

В качестве основного критерия оценки рациональности применения разработанных инструментов использовали период их стойкости до нормированного износа (0,5 мм по задней грани). В качестве ограничения при выборе вариантов решений использовали условие недопустимости снижения качества поверхности детали после обработки этими инструментами. Качество обработанной поверхности оценивали по параметрам шероховатости обработанной поверхности детали.

В главе также изложены результаты проектирования новых инструментальных покрытий (простых двухслойных и наноструктурированных многослойных с той или иной структурой), обеспечивающих повышение периода стойкости инструмента без снижения производительности обработки и с повышением качества (по параметрам шероховатости) обработанной поверхности.

Показано, что изменение структуры 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 данного угла от 4 до 7 градусов в сравнении с инструментом без покрытия. Полученные результаты являются основанием для нового толкования взаимосвязи изменения параметров волнистости и

шероховатости обработанной поверхности с изменением положения плоскости сдвига, что, в свою очередь, даёт новое объяснение механизма изменения условий стружкообразования, которые влекут за собой возможность создания условий, 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.

### **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 резания, представляющая внедрение режущего клина призматической формы в материал заготовки детали. Режущий клин принимали как твердое 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 структура (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 структуры покрытий осуществляли путём экспериментального определения силы резания. Значения составляющих силы резания использовали для расчёта напряжений в инструментальном материале по известной зависимости профессора Петрушина С.И. Установлена правомерность такого подхода.

### **Научная новизна проведенных исследований**

Научная новизна диссертационной работы Ситамова Э.С. включает следующие основные положения:

- методологию 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, 12X18H10T, 13X15H5 АМ-3 без снижения производительности обработки и с повышением качества обработанной поверхности. Методология построена на применении метода имитационного исследования, позволяющего создать многовариантные структуры 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».

- уточненный 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.

### **Степень достоверности и апробация результатов работы**

Достоверность полученных результатов подтверждена 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.

### **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, 12X18H10T, 13X15H5 AM-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.

- Разработан 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.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования на промышленных предприятиях, связанных с механической лезвийной обработкой нержавеющей сталей.

### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа по своим целям, содержанию и методам исследования соответствует научной специальности 05.02.07 07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки: пункту 4 – «Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки»; пункту 2 – «Теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки,

включая процессы комбинированной обработки с наложением различных физических и химических воздействий».

### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Ситамова Э.С. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Новизна, практическая значимость и достоверность представленных результатов не вызывают сомнений.

Следует отметить применение современного исследовательского оборудования (многофункциональный измерительный комплекс, специализированный токарный динамометр, прибор для измерения параметров шероховатости), хорошую доказательную базу по выявлению влияния применяемых покрытий на параметры шероховатости поверхностей, обработанных инструментами с такими покрытиями.

Представленные материалы достаточно полно отражены в публикациях, прошли апробацию на конференциях.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются замечания. Основными из них являются:

1. Слабая аргументация причин выбора для проведения моделирования программной среды Deform.

2. Не полностью раскрыты причины изменения величин составляющих силы резания при применении разных покрытий на инструменте.

3. Не обосновано принятие допустимой величины износа инструмента по задней грани в размере 0,5 мм.

4. Не выявлено влияние химических элементов материала покрытия на период стойкости инструмента.

5. Во второй главе недостаточно обоснован выбор покрытий, подлежащим имитационному моделированию.

6. В четвёртой главе приведена избыточная информация по применённым в исследовании твёрдосплавным основам (субстратам).

7. Ряд рисунков в тексте диссертации требуют цветного исполнения потому, что чёрно-белое изображение затрудняет понимание и анализ.

Заведующий кафедрой технологии  
и оборудования машиностроительных  
производств ФГБОУ ВО «Иркутский  
национальный исследовательский  
технический университет»,  
доктор технических наук, профессор

Пашков Андрей Евгеньевич

«30» марта 2021 г.

Подпись Пашкова А.Е. заверяю:

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ НАЦИОНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАТЕЛ  
СКОЕ ЦЕНТРОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ  
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ