

На правах рукописи



Медисон Виталий Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Тагил – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Научный руководитель: **Пегашкин Владимир Фёдорович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Кугультинов Сергей Данилович,**
доктор технических наук, профессор
кафедры «Производство машин и механизмов»
ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный
технический университет имени
М.Т. Калашникова»

Строшков Анатолий Никифорович,
кандидат технических наук,
исполнительный директор
ООО «Аквамарин»

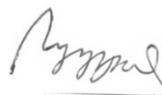
Ведущая организация - ФГУП «Научно-исследовательский
институт машиностроения»,
г. Нижняя Салда

Защита диссертации состоится «___» _____ 2015 г. в _____ на заседании диссертационного совета Д 212.298.06 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ауд. 201а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



И. А. Щуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Титановые сплавы находят широкое применение в современном машиностроении (авиационно-космическом, химическом, энергетическом) вследствие своих уникальных свойств, состоящих в высокой удельной прочности, коррозионной стойкости и жаропрочности. Однако их использование ограничивается относительно низкой обрабатываемостью резанием, вследствие чего себестоимость выпуска продукции из титановых сплавов достаточно высока.

Одной из важных задач при повышении обрабатываемости является повышение стойкости режущего инструмента. При этом наиболее эффективными методами повышения стойкости режущего инструмента являются методы, которые используют явления, возникающие в процессе резания и влияющие на износ режущего инструмента. Одним из таких методов является метод электрической изоляции режущего инструмента, впервые разработанный *H. Axer*, работы которого впоследствии были продолжены *T. Hehenkamp*, М. Т. Галеем, Ю. С. Дубровым, Г. И. Якуниным, В. А. Бобровским, С. Н. Постниковым, Ю. М. Коробовым, А. А. Рыжкиным, В. Г. Солоненко, *Lin Young-Chuan*, *H.S. Shan*, *R. Tanaka*, *K. Uehara* и др.

В то же время существующие к настоящему времени практические реализации метода электрической изоляции режущего инструмента не нашли широкого применения в промышленности вследствие ряда факторов, к которым относятся низкая долговечность изолирующей оснастки, трудоемкость её изготовления и восстановления, а также снижение жесткости инструментальной системы при использовании такой оснастки. Недостатки существующих реализаций метода электрической изоляции режущего инструмента являются причиной существования ряда негативных отзывов о применении данного метода, в частности представленных Р.Г. Маркосян, Н.И. Резниковым и Т.Н. Лоладзе. При этом следует отметить, что критические отзывы о представленном методе противоречивы, а *H.S. Shan* и *P.C. Pandey* в своей работе прямо указывают на тот факт, что электрическая изоляция режущего инструмента является методом повышения его стойкости не для всех обрабатываемых материалов. При этом по данным С.Н. Постникова, эффективность электроизоляции режущего инструмента при обработке титановых сплавов выше, чем при обработке конструкционных сталей в силу того, что, во-первых, сочетание «титановый сплав – быстрорежущая сталь» представляет собой *p-n* переход, во-вторых, термоЭДС при нагреве термопар «титановый сплав – быстрорежущая сталь» выше, чем при нагреве термопар «конструкционная сталь – быстрорежущая сталь».

Анализ литературы по данному вопросу также выявил существование пробелов в объяснении явлений, происходящих при обработке титановых сплавов электрически изолированным режущим инструментом. Применительно к обработке титановых сплавов не исследовано влияние электрической изоляции режущего инструмента на силу резания и усадку стружки, хотя ряд авторов, и в частности Ю.М. Коробов и *R. Tanaka*, сообщают об уменьшении силы резания при обработке конструкционных сталей электрически изолированным режущим

инструментом. При этом указанными авторами не предложено никакого объяснения наблюдаемым явлениям. Отсюда можно заключить, что при объяснении явлений, возникающих при обработке титановых сплавов электрически изолированным режущим инструментом, не учтено влияние силы резания и усадки стружки на стойкость режущего инструмента.

Таким образом, актуальность предлагаемой научно-исследовательской работы обусловлена:

- 1 существованием пробелов в объяснении явлений, наблюдающихся при работе электрически изолированным режущим инструментом;
- 2 недостаточностью и противоречивостью данных об эффективности электрической изоляции режущего инструмента при обработке титановых сплавов;
- 3 необходимостью разработки новых, более совершенных способов электрической изоляции режущего инструмента, которая обусловлена недостатками существующих способов;
- 4 возрастающими потребностями в продукции из титановых сплавов в аэрокосмическом, морском и химическом машиностроении, которые обуславливают рост требований к стойкости режущего инструмента, используемого при обработке титановых сплавов, а также необходимость снижения себестоимости обработки резанием титановых сплавов;
- 5 ростом числа публикаций, посвященных исследованию электрических явлений при резании металлов и электроизоляции как методу повышения стойкости режущего инструмента.

Целью диссертационной работы является повышение стойкости режущего инструмента методом электроизоляции при обработке титановых сплавов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Исследовать влияние электрической изоляции режущего инструмента при точении титановых сплавов на силу резания и усадку стружки;
2. Исследовать взаимосвязь между изменением силы резания и усадки стружки при точении электрически изолированными резцами изделий из титановых сплавов и стойкостью режущего инструмента;
3. Разработать усовершенствованный способ электрической изоляции режущего инструмента, отвечающий требованиям по жесткости инструментальной системы, долговечности изолирующей оснастки и простоте её изготовления и восстановления;
4. Исследовать стойкость режущего инструмента при обработке титановых сплавов в условиях электрической изоляции.

В ходе работы получены следующие **новые научные результаты**:

1. На основе положений электропластической деформации металлов теоретически показано, что электрическая изоляция режущего инструмента способствует уменьшению силы резания и усадки стружки в связи с устранением дополнительной силы, вызванной действием электрического

тока в цепи «станок – инструмент – изделие – станок». Показано, что уменьшению силы резания способствует устранение силы электронного увлечения, действующей на единицу длины дислокации. Данное следствие из теории электропластической деформации металлов подтверждено экспериментально;

2. Установлена множественная корреляция между силой резания, усадкой стружки и стойкостью режущего инструмента. Показана прямая корреляционная связь между уменьшением силы резания при точении титановых сплавов и расчетной величиной дополнительной силы, вызванной протеканием электрического тока по цепи «станок – инструмент – изделие – станок». Показана прямая корреляционная связь между усадкой стружки и стойкостью резцов, обратная – между силой резания и усадкой стружки и между силой резания и стойкостью резцов;
3. Получены регрессионные зависимости силы тока в цепи «станок – инструмент – изделие – станок», силы резания и стойкости резцов от параметров режима резания при точении титановых сплавов. Получены регрессионные зависимости стойкости сверл от диаметра сверла и скорости резания.

Практическая ценность состоит в том, что:

1. Повышена стойкость резцов, оснащенных твердосплавными пластинами, при обработке титановых сплавов в $1,23 \div 2,03$ раз, и сверл из быстрорежущей стали Р6М5 в $1,66 \div 2,76$ раз;
2. Разработан способ электрической изоляции режущего инструмента при обработке титановых сплавов, состоящий в использовании вспомогательного инструмента и специальных приспособлений, поверхности которых имеют оксидный слой, обладающий диэлектрическими свойствами (патент РФ №2456125).

Внедрение результатов работы. Разработанный способ повышения стойкости режущего инструмента при обработке титановых сплавов методом электроизоляции, а также соответствующие технологические и конструкторские решения приняты к использованию на ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: 15-й международной научно-практической конференции «Технология упрочнения, нанесения покрытий и ремонта : теория и практика» (Санкт-Петербург, 2013); международной научной школе для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов» (Екатеринбург, 2010); международной заочной конференции «Инженерная поддержка инновации и модернизации» (Екатеринбург, 2010); XII международной научно-технической уральской школе-семинаре металловедов-молодых ученых (Екатеринбург, 2011); международной заочной научно-практической конференции «Проблемы науки, техники и образования в современном мире» (Липецк, 2012); всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием

«Инженерная мысль машиностроения будущего» (Екатеринбург, 2012); VI уральской научно-практической конференции «Сварка, реновация, триботехника» (Нижний Тагил, 2013); региональных научно-практических конференциях «Молодежь и наука» (Нижний Тагил, 2010, 2012 и 2013); региональной научно-технической конференции «Наука – образование – производство: опыт и перспективы развития» (Нижний Тагил, 2011); III (2009) и IV (2010) региональных научно-технических конференциях «Образование и производство» (Верхняя Салда).

Публикации по теме. По материалам диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ в виде статей и докладов на конференциях международного, всероссийского и регионального уровня, в том числе 4 статьи в журналах из списка ВАК и 2 статьи в журналах, включенных в международную базу цитирования SCOPUS.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка (108 наименований) и двух приложений. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста, включает 64 рисунка и 39 таблиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ в 2011 и 2013 гг., а также на средства государственного задания на выполнение научно-исследовательских работ Н.641.42Г.002/12.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведена краткая характеристика работы, показано место работы в машиностроении, изложены основные нерешенные проблемы в рассматриваемой области знания.

В первой главе на основе анализа отечественной и зарубежной литературы рассмотрено современное состояние метода электрической изоляции режущего инструмента. Выявлены основные достоинства и недостатки существующих реализаций данного метода. Приведены основные теоретические объяснения эффективности метода электрической изоляции режущего инструмента. На основе анализа литературы представлены цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлена методология решения поставленных задач. Для определения силы тока в цепи «станок – инструмент – изделие – станок» использовалась установка, представленная на Рисунке 1. При установке пластины *TNMG220408-SF* из твердого сплава *GC 1105* в державке *PTTNR 2525M-22* обеспечивается передний угол -6° , задний угол 6° , и угол наклона режущей кромки -6° .

Для исследования силы резания при точении титановых сплавов использовалась установка, представленная на Рисунке 2. Экспериментальная установка состоит из укороченной державки резца с отверстием, которая при помощи трубки крепится к тензометрическому датчику силы балочного типа,

который, подобно обычной державке резца, закреплен в резцедержателе станка. Датчик испытывает упругие деформации, в результате чего генерируется ЭДС, поступающая в аналоговый усилитель сигнала, откуда она передается на плату сбора данных NI USB 6210.

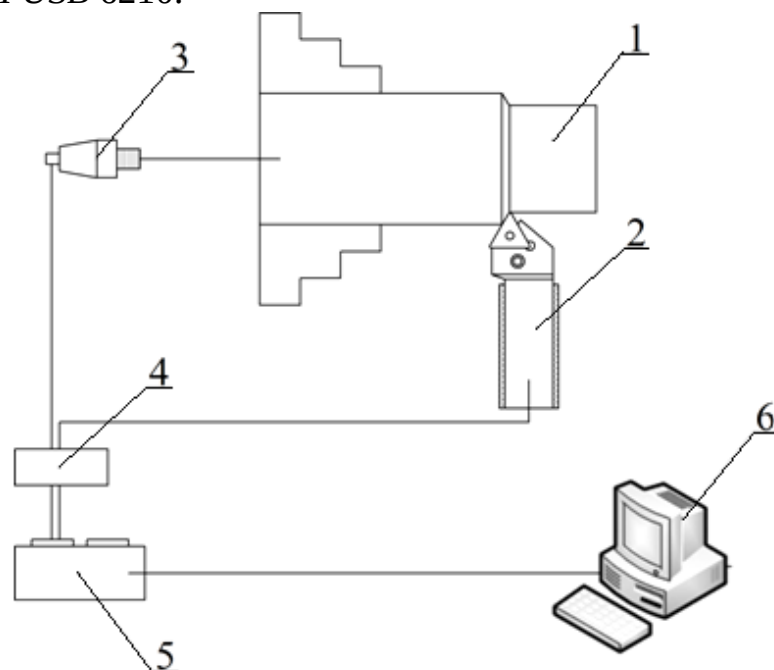


Рисунок 1. Экспериментальная установка для исследования термоЭДС и силы тока при точении титановых сплавов:

1 – пруток; 2 – резец PTTNR 2525M-22, оснащенный пластиной TNMG220408-SF из сплава GC 1105; 3 – вращающийся электрический соединитель Mercotac 110; 4 – шунт; 5 – плата сбора данных NI-USB 6210; 6 – персональный компьютер

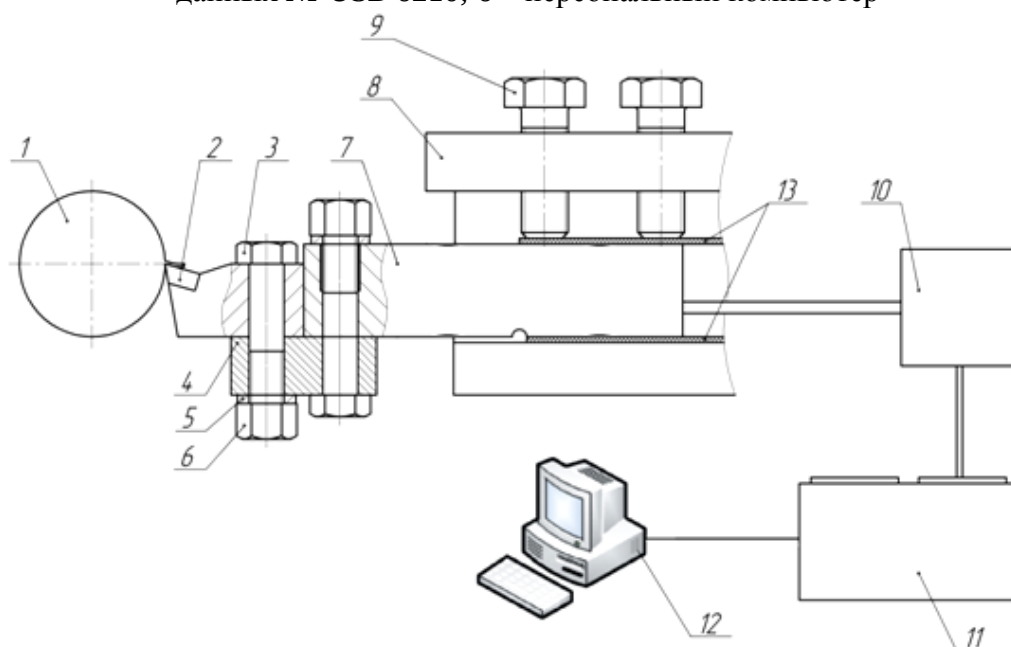


Рисунок 2. Схема установки для измерения силы резания:

1 – обрабатываемая деталь; 2 – резец; 3 – болт M12; 4 – струбцина; 5 – шайба; 6 – гайка M12; 7 – балочный тензодатчик SBA; 8 – резцедержатель; 9 – винты резцедержателя; 10 – усилитель сигнала датчика; 11 – плата сбора данных NI USB 6210; 12 – персональный компьютер

Сбор и анализ экспериментальных данных в установках для исследования силы тока (Рисунок 1) и силы резания (Рисунок 2) при точении осуществляли с использованием программного пакета *LabVIEW 2010* с использованием дополнения *NI-DAQmx*. При этом для идентификации сигнала использовался низкочастотный фильтр Чебышева первого рода с полосой пропускания от 25 до 400 Гц. Частота измерений во всех испытаниях была принята равной 1 кГц.

Исследовали усадку стружки при точении титановых сплавов по методу взвешивания (методу А.М. Розенберга). Коэффициент усадки стружки определяли по формуле

$$\zeta_L = \frac{m_{ch}}{l_c \cdot \rho_w \cdot t \cdot s}, \quad (1)$$

где m_{ch} – масса измеренного участка стружки, г; l_c – длина измеренного участка стружки, мм; ρ_w – плотность обрабатываемого материала, г/мм³; t – глубина резания, мм; s – подача мм/об.

В качестве нового способа электрической изоляции режущего инструмента предложено использовать вспомогательный инструмент и приспособления, изготовленные из титановых сплавов, на поверхности которого методом термического оксидирования создано диэлектрическое оксидное покрытие. Для определения марки сплава вспомогательного инструмента и режимов получения диэлектрического покрытия приведена методика исследования: электрического сопротивления образцов из титановых сплавов на приборе *Sonel MIC-1000*, твердости титановых сплавов на твердомере ТБ5004, исследования массы оксидной пленки на весах ГОСТМЕТР ВЛТЭ-210 и толщины оксидного слоя на микроскопе *Zeiss Observer D1*.

Представлена методика исследования стойкости резцов проходных отогнутых сборных *PTTNR 2525M-22*, оснащенных неперетачиваемыми пластинами *TNMG220408-SF* из твердого сплава *GC 1105*. Исследование стойкости резцов проводили при обработке титановых сплавов марок ВТ1-0, ОТ4, ВТ6 и VST5553. Износ замеряли после каждого прохода при помощи микроскопа МПБ-3. Критерием затупления был износ по задней поверхности, равный 0,2 мм, измеренный при помощи микроскопа марки МПБ-3.

Представлена методика исследования стойкости спиральных сверл ГОСТ 10902-77 из стали Р6М5 при обработке титановых сплавов марок ВТ1-0, ОТ4 и ВТ6. Критерием затупления для сверл был износ по задней или по передней поверхности превышающий 0,5 мм, измеренный при помощи микроскопа марки МПБ-3.

Представлена методика промышленных испытаний предлагаемого способа повышения стойкости режущего инструмента, проведенных в условиях ОАО «Корпорации ВСМПО-АВИСМА» при изготовлении детали «Доска трубная» для теплообменника.

В третьей главе представлено решение задачи определения влияния электрической изоляции на силу резания и усадку стружки при точении титановых сплавов. В качестве теоретической базы для исследования использовалась теория электропластической деформации металлов,

разработанная в трудах В.И. Спицына, И.Л. Батаронова, Д.Н. Карпинского, С.В. Санникова и О.А. Троицкого. Согласно теории электропластической деформации при пропускании электрического тока через деформируемый проводник на единицу длины дислокации действует сила электронного увлечения

$$F_j = V \cdot b \cdot 10^2, \quad (2)$$

где 10^2 – размерный коэффициент, кг/м²·с; b – вектор Бюргерса, м; V – дрейфовая скорость электронов в проводнике, м/с

$$V = -\frac{j}{en}, \quad (3)$$

j – плотность тока, А/м²; e – элементарный электрический заряд, равный $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл; n – концентрация электронов, м⁻³. Знак « $-$ » в формуле (3) означает, что направление движения электронов противоположно направлению вектора плотности тока.

Сила электронного увлечения F_j создает напряжение на единичную дислокацию

$$\sigma = \frac{F_j}{b}. \quad (4)$$

Отсюда следует, что электрический ток в проводнике должен приводить к возрастанию силы резания на величину

$$F^* = \frac{\sigma}{\rho}, \quad (5)$$

где ρ – плотность дислокаций, м⁻², которую в соответствии с результатами В.К. Старкова, принимали равной $\rho \approx 10^{-15} \sim 10^{-16}$ м⁻².

Таким образом, при обработке токопроводящих материалов электрически изолированным режущим инструментом, сила резания должна будет уменьшаться на величину, сопоставимую с F^* . Уменьшение силы резания должно приводить к уменьшению усадки стружки в соответствии с результатами, полученными В.В. Архиповым. Это также будет способствовать повышению стойкости режущего инструмента ввиду уменьшения энергетических затрат на процесс пластической деформации стружки, что было показано в работах В.П. Астахова.

На основании проведенных экспериментов были получены зависимости силы тока от параметров режима резания:

$$\text{BT1-0} \quad I = 0,23 \cdot V^{0,49} \cdot s^{0,24} \cdot t^{0,09} \quad (6)$$

$$\text{OT4} \quad I = 0,21 \cdot V^{0,52} \cdot s^{0,25} \cdot t^{0,11} \quad (7)$$

$$\text{BT6} \quad I = 0,40 \cdot V^{0,34} \cdot s^{0,15} \cdot t^{0,07} \quad (8)$$

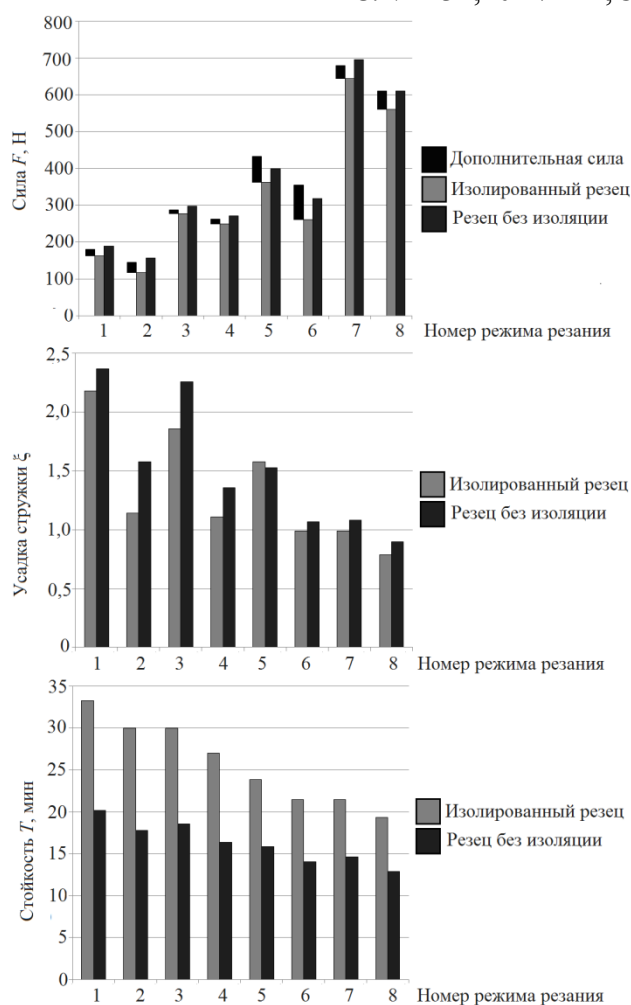
$$\text{VST5553} \quad I = 0,47 \cdot V^{0,32} \cdot s^{0,14} \cdot t^{0,05} \quad (9)$$

Данные модели были использованы для расчета плотности тока, и последующего расчета дополнительной силы F^* , возникающей в зоне резания под действием электрического тока, протекающего по цепи «станок – инструмент – изделие – станок», по формулам (2) – (5). По результатам расчета дополнительная сила равна $8,72 \div 95,60$ Н.

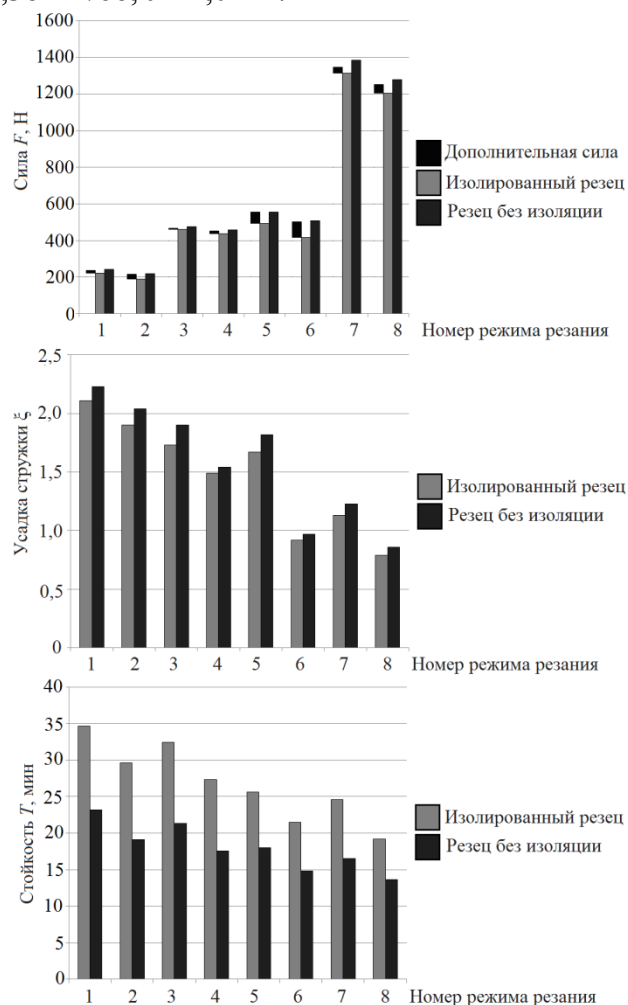
Результаты экспериментального исследования силы резания и усадки стружки подтвердили их уменьшение при работе электрически изолированными резцами на $3,02 \div 46,73\%$ и $3,24 \div 27,85\%$ соответственно.

На Рисунке 3 представлены гистограммы изменения дополнительной силы, вызванной действием электрического тока в цепи «станок – инструмент – изделие – станок», силы резания, усадки стружки и стойкости режущего инструмента при следующих режимах резания:

1. $V = 15,70$ м/мин, $s = 0,10$ мм/об, $t = 0,5$ мм;
2. $V = 31,40$ м/мин, $s = 0,10$ мм/об, $t = 0,5$ мм;
3. $V = 15,70$ м/мин, $s = 0,10$ мм/об, $t = 1,0$ мм;
4. $V = 31,40$ м/мин, $s = 0,10$ мм/об, $t = 1,0$ мм;
5. $V = 15,70$ м/мин, $s = 0,38$ мм/об, $t = 0,5$ мм;
6. $V = 31,40$ м/мин, $s = 0,38$ мм/об, $t = 0,5$ мм;
7. $V = 15,70$ м/мин, $s = 0,38$ мм/об, $t = 1,0$ мм;
8. $V = 31,40$ м/мин, $s = 0,38$ мм/об, $t = 1,0$ мм.



а)



б)

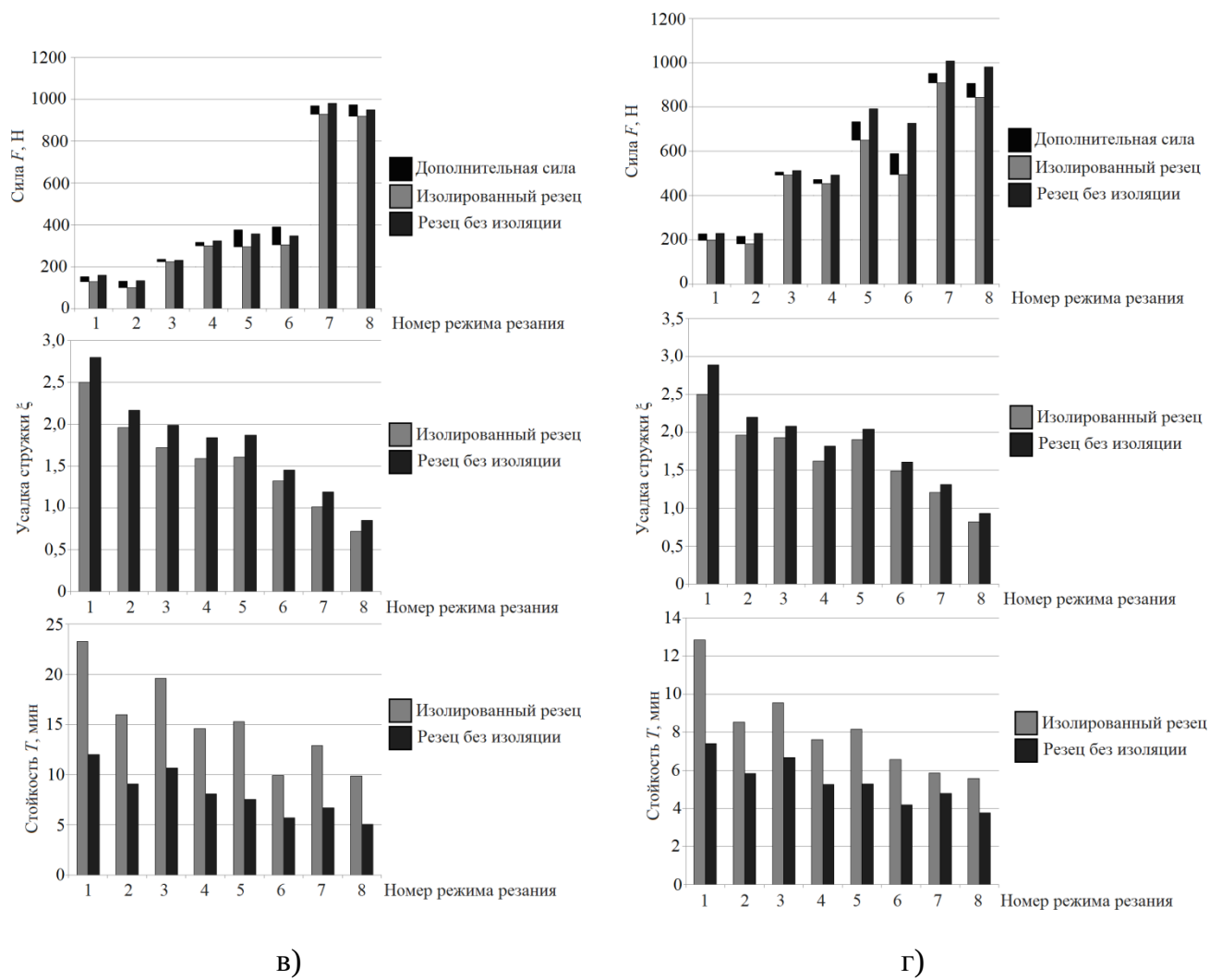


Рисунок 3. Изменение дополнительной силы, силы резания, усадки стружки и стойкости инструмента при точении титанового сплава:

а) BT1-0; б) OT4; в) BT6; г) VST5553

Методом регрессионного анализа получены следующие математические зависимости силы резания F и усадки стружки ξ_L от параметров режима резания и электрической изоляции режущего инструмента

$$\text{BT1-0} \quad F = 2766,88 \frac{s^{0,60} t^{0,87}}{V^{0,28} k^{0,06}}, \quad \xi_L = \frac{4,84}{V^{0,60} \cdot s^{0,32} \cdot t^{0,29} \cdot k^{0,04}}, \quad (10)$$

$$\text{OT4} \quad F = 3844,98 \frac{s^{0,69} t^{1,24}}{V^{0,14} k^{0,04}}, \quad \xi_L = \frac{2,88}{V^{0,45} \cdot s^{0,37} \cdot t^{0,35} \cdot k^{0,03}}, \quad (11)$$

$$\text{BT6} \quad F = 2275,49 \frac{s^{0,83} t^{1,29}}{V^{0,03} k^{0,06}}, \quad \xi_L = \frac{1,94}{V^{0,32} \cdot s^{0,40} \cdot t^{0,57} \cdot k^{0,06}}, \quad (12)$$

$$\text{VST5553} \quad F = 2737,87 \frac{s^{0,70} t^{0,81}}{V^{0,06} k^{0,05}}, \quad \xi_L = \frac{2,68}{V^{0,37} \cdot s^{0,33} \cdot t^{0,54} \cdot k^{0,04}}, \quad (13)$$

где k – коэффициент, показывающий влияние электрической изоляции на силу резания, равный 10 при работе электрически изолированным инструментом и 1 – при точении без использования электрической изоляции резца.

Корреляционный анализ показал существование прямой корреляционной связи между дополнительной силой, вызванной действием электрического тока, F^* и изменением силы резания ΔF : $R = 0,74 \div 0,88$. Показано существование отрицательной корреляционной связи между силой резания и усадкой стружки $R = (-0,54) \div (-0,83)$.

В четвертой главе представлены результаты разработки усовершенствованного способа электрической изоляции режущего инструмента. На основе анализа литературных данных было показано, что электроизолирующие приспособления должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Электрическое сопротивление поверхности не должно быть ниже 200 МОм, в соответствии с результатами, полученными Ю.М. Коробовым и Г.А. Прейсом;
2. Твердость вспомогательного инструмента должна быть больше, либо равна 269 НВ в соответствии с требованиями ГОСТ 17166-71;
3. Толщина оксидной пленки или относительный прирост массы изделий, определяемый по формуле $\Delta m_{\text{отн}} = (m_{\text{послеокислирования}} - m_{\text{исх}}) / m_{\text{исх}}$ должны быть по возможности минимальны, так как операция термического оксидирования является заключительной операцией технологического процесса изготовления вспомогательного инструмента или приспособлений с диэлектрическим оксидным покрытием.

Результаты исследования электрического сопротивления, твердости, толщины оксидной пленки и прироста массы образцов из титановых сплавов различных марок, приведенные на Рисунках 7 – 9 и в Таблице 1 показали, что наилучшим сплавом, удовлетворяющим всем вышеперечисленным требованиям, является сплав ВТЗ-1, а наилучшими режимами термического оксидирования для получения покрытия с повышенным электросопротивлением является выдержка в печи при температуре $750 \div 800^\circ\text{C}$ в течение $5 \div 6$ часов.

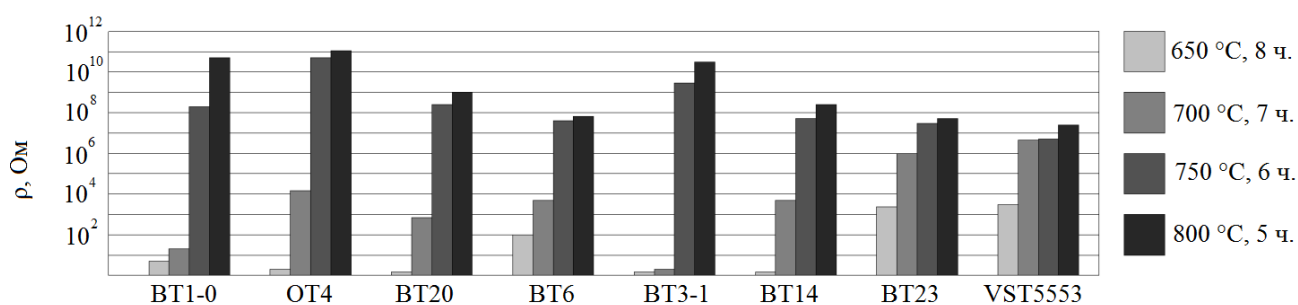


Рисунок 7. Результаты измерения электрического сопротивления образцов после термического оксидирования на приборе Sonel MIC-1000

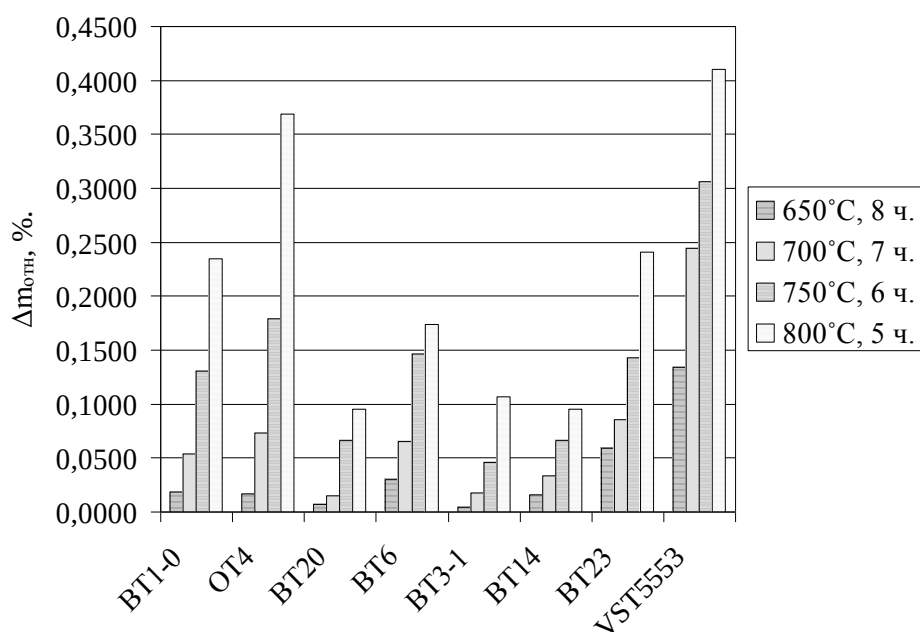


Рисунок 8. Гистограммы относительного привеса образцов

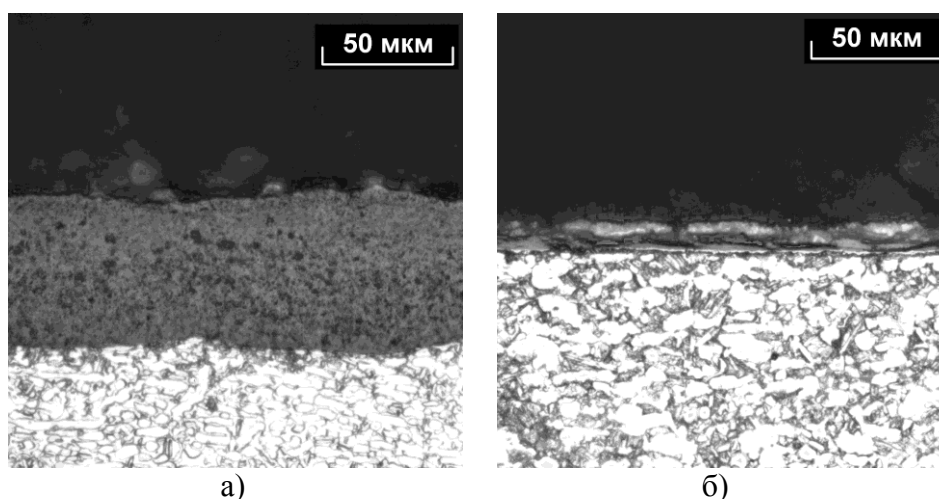


Рисунок 9. Микроструктура после термического оксидирования при температуре 750 °С в течение 6 часов: а) сплава ОТ4; б) сплава ВТ3-1

Таблица 1

Результаты исследования твердости образцов

Марка сплава	НВ, 10 ⁻¹ МПа				
	После закали	После старения			
		650°C, 8 ч	700°C, 7 ч	750°C, 6 ч	800°C, 5 ч
BT1-0	201	201	207	201	201
OT4	207	207	217	207	201
BT20	285	293	277	255	255
BT6	321	341	331	321	302
BT3-1	302	352	321	321	293
BT14	285	293	311	277	255
BT23	285	331	321	285	277
VST 5553	262	352	331	302	262

Предлагаемый способ электрической изоляции режущего инструмента изображен на Рисунках 10 и 11.

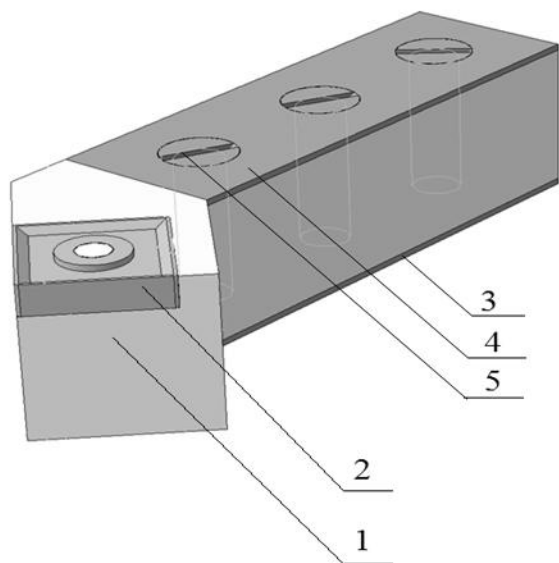


Рисунок 10. Использование способа электрической изоляции режущего инструмента при точении:
1 – державка; 2 – режущая пластина; 3 и 4 – верхняя и нижняя прокладки из оксидированного титана; 5 – винты из оксидированного титана

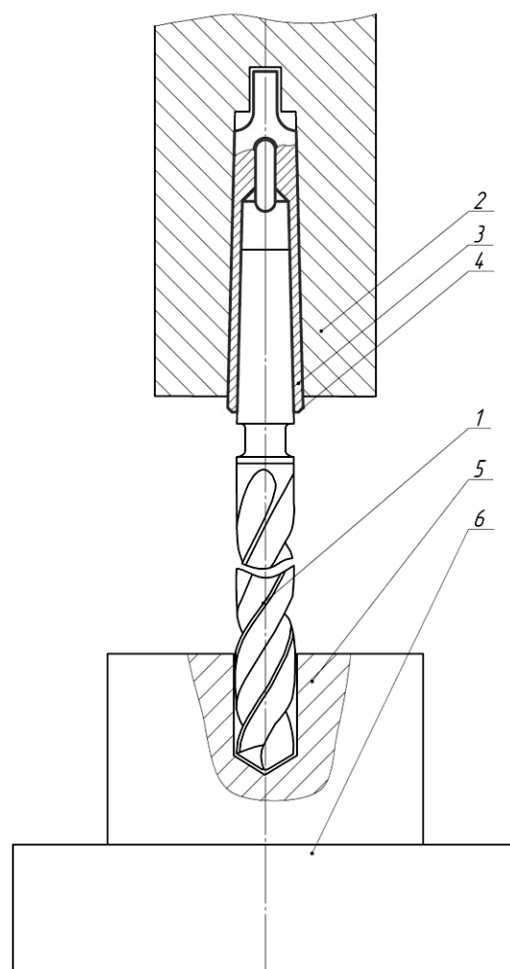


Рисунок 11. Использование способа электрической изоляции режущего инструмента при сверлении:
1 – сверло, 2 – шпиндель, 3 – переходная втулка, 4 – оксидный слой, 5 – деталь, 6 – стол станка

В пятой главе проведено исследование стойкости режущего инструмента при использовании разработанного способа электрической изоляции режущего инструмента. Результаты исследования стойкости режущего инструмента при точении приведены на Рисунке 6. Установлено, что электрическая изоляция приводит к повышению стойкости токарных резцов в 1,23÷2,03 раза. Получены математические зависимости стойкости токарных резцов, оснащенных твердосплавной неперетачиваемой пластиной, при обработке титановых сплавов

BT1-0

$$T = 18,06 \frac{k^{0,20}}{V^{0,17} s^{0,22} t^{0,14}}, \quad (14)$$

OT4

$$T = 24,46 \frac{k^{0,17}}{V^{0,28} s^{0,21} t^{0,11}}, \quad (15)$$

$$BT6 \quad T = 17,01 \frac{k^{0,27}}{V^{0,45} s^{0,33} t^{0,16}}, \quad (16)$$

$$VST5553 \quad T = 8,83 \frac{k^{0,17}}{V^{0,33} s^{0,27} t^{0,24}}, \quad (17)$$

где k – коэффициент, показывающий влияние электрической изоляции на силу резания, равный 10 при работе электрически изолированным инструментом и 1 – при точении без использования электрической изоляции резца.

Корреляционный анализ показал существование обратной корреляционной связи между силой резания и стойкостью токарных резцов $R = (-0,52) \div (-0,66)$ и прямой корреляционной связи между усадкой стружки и стойкостью токарных резцов $R = 0,51 \div 0,57$. Расчет коэффициента множественной корреляции приведен в Таблице 2. Установленные корреляционные взаимосвязи иллюстрируются Рисунками 3 – 6.

Таблица 2

Расчет коэффициентов корреляции			
BT1-0	OT4	BT6	VST5553
Коэффициент корреляции между силой резания и усадкой стружки r_{x1x2}			
-0,54	-0,72	-0,83	-0,79
Коэффициент корреляции между силой резания и стойкостью резцов r_{yx1}			
-0,52	-0,56	-0,57	-0,66
Коэффициент корреляции между усадкой стружки и стойкостью резцов r_{yx2}			
0,54	0,52	0,53	0,57
Коэффициент множественной корреляции R_{yx1x2}			
0,60	0,59	0,58	0,67

Результаты исследования стойкости спиральных сверл приведены в Таблице 3. Из результатов видно, что стойкость спиральных сверл из быстрорежущей стали P6M5 при обработке титановых сплавов возрастает в $1,66 \div 2,76$ раз. В результате регрессионного анализа получены следующие математические зависимости стойкости сверл от параметров режима резания

$$\begin{array}{ll} \text{без изоляции} & T = 0,94 \cdot D^{1,70} / V^{0,22}, \quad (18) \\ BT1-0 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{с изоляцией} & T = 1,68 \cdot D^{1,93} / V^{0,28}, \quad (19) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{без изоляции} & T = 2,41 \cdot D^{1,04} / V^{0,31}, \quad (20) \\ OT4 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{с изоляцией} & T = 3,15 \cdot D^{1,37} / V^{0,33}, \quad (21) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{без изоляции} & T = 0,35 \cdot D^{1,99} / V^{0,39}, \quad (22) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{с изоляцией} & T = 0,94 \cdot D^{1,81} / V^{0,48}, \quad (23) \\ BT6 \end{array}$$

где T – стойкость сверл, мин., D – диаметр сверла, мм., V – скорость резания, м/мин.

Таблица 3

Результаты исследования стойкости спиральных сверл

№	Изоляция	d, мм	n, об/мин	V, м/мин	BT1-0		OT4		BT6	
					T _{ср} , мин.	T _{из} /T	T _{ср} , мин.	T _{из} /T	T _{ср} , мин.	T _{из} /T
1	+	2,5	180	1,413	9,71	2,16	11,38	1,77	3,96	2,02
2	–	2,5			4,50		6,42		1,96	
3	+	2,5	500	3,925	6,09	2,36	5,55	1,66	2,09	2,27
4	–	2,5			2,58		3,34		0,92	
5	+	2,5	1000	7,85	5,97	1,97	6,13	1,54	2,16	1,93
6	–	2,5			3,03		3,98		1,12	
7	+	3,7	125	1,413	18,91	2,39	16,09	1,83	9,97	2,38
8	–	3,7			7,90		8,79		4,19	
9	+	3,7	355	3,925	12,17	2,09	10,13	2,37	4,27	1,62
10	–	3,7			5,83		4,28		2,64	
11	+	3,7	710	7,85	13,05	1,79	12,29	2,31	4,88	1,70
12	–	3,7			7,28		5,32		2,87	
13	+	5,0	90	1,413	39,50	2,41	29,92	2,28	18,17	1,77
14	–	5,0			16,42		13,13		9,71	
15	+	5,0	250	3,925	21,42	2,76	14,59	1,99	6,34	2,00
16	–	5,0			7,75		7,34		3,38	
17	+	5,0	500	7,85	23,78	2,54	15,24	1,88	6,55	1,74
18	–	5,0			9,35		8,10		3,77	

Промышленные испытания разработанного способа электрической изоляции режущего инструмента проводились в условиях ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» при сверлении трубных досок для теплообменников. Результаты показали, что износ электрически изолированных сверл в 1,25÷2,15 раз меньше, чем у сверл, работающих в обычных условиях. Предложенный способ повышения стойкости режущего инструмента, а также соответствующие технологические и конструкторские решения приняты к использованию на ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда.

Расчет экономического эффекта показал, что внедрение предлагаемого способа повышения стойкости металлорежущего инструмента при обработке титановых сплавов позволяет достичь снижения затрат на инструмент на 49,26÷60,09 %, при этом снижение затрат на производство составляет 2,39÷7,98% или, для рассматриваемых случаев точения и сверления, 159291,00 руб. и 432300,00 руб. соответственно.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе теории электропластической деформации металлов предсказано уменьшение силы резания и усадки стружки при работе электрически изолированным режущим инструментом, благодаря устранению дополнительной силы от протекания электрического тока по цепи «станок – инструмент – изделие – станок», на величину которой влияет сила электронного увлечения, действующая на единицу длины дислокации. Расчет дополнительной силы для случая точения титановых сплавов показал, что она варьируется в пределах от 8,72 до 95,60 Н;
2. Экспериментально показано, что при работе электрически изолированным режущим инструментом со сменными твердосплавными неперетачиваемыми пластинами из GC 1105 заготовок из титановых сплавов сила резания уменьшается на $3,02 \div 46,73$ %, а усадка стружки – на $3,24 \div 27,85$ %, что подтверждает теоретические прогнозы;
3. Доказано, что существует множественная корреляция (коэффициент множественной корреляции $R = 0,58 \div 0,67$) между силой резания, усадкой стружки и стойкостью электрически изолированного режущего инструмента при обработке заготовок из титановых сплавов;
4. Разработан новый способ электрической изоляции режущего инструмента (патент РФ №2456125), состоящий в использовании вспомогательного инструмента и приспособлений, изготовленных из титановых сплавов, на поверхности которых методом термического оксидирования создан диэлектрический оксидный слой;
5. Экспериментальное исследование нового способа повышения стойкости режущего инструмента показало, что электрическая изоляция приводит к уменьшению износа и повышению стойкости:
 - в $1,23 \div 2,03$ раз при точении титановых сплавов марок BT1-0, OT4, BT6 и VST5553 резцами с твердосплавными неперетачиваемыми пластинками из сплава GC 1105;
 - в $1,66 \div 2,76$ раз при сверлении титановых сплавов марок BT1-0, OT4, BT6 и VST 5553 сверлами из стали P6M5;
 - в $1,25 \div 2,15$ раз при сверлении трубных досок для теплообменников в промышленных условиях ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них **4 в журналах из перечня ВАК:**

1. Медисон, В. В. Применение электроизоляции для повышения стойкости режущего инструмента / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев // Научно-технический вестник Поволжья. №4, 2011. С.121 – 124 – ISSN 2079-5920
2. Медисон, В. В. Повышение стойкости режущего инструмента методом электроизоляции / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев, Д. В.

Калашник, С. М. Мурыжников // Технология машиностроения, №10, 2012. С. 13 – 16 – ISSN 1562-322X

3. Медисон, В. В. Повышение стойкости спиральных сверл при обработке титановых сплавов методом электроизоляции / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев // Титан, №1, 2013. С. 35 – 38 – ISSN 2075-2903
4. Медисон, В. В. Механизм влияния термоэлектрического тока на стойкость инструмента при резании титановых сплавов / В. В. Медисон // Вестник машиностроения, №1, 2014, С. 75 – 78

Патенты:

1. Патент 2456125 Российская Федерация, МПК В23В1/00 В23В35/00. Способ обработки резанием токопроводящим режущим инструментом изделий из металлов и токопроводящих материалов / В. В. Медисон, В. И. Голубев, С. В. Андреев, Д. В. Калашник, С. М. Мурыжников – №2010139707/02 ; заявл. 27.09.2010 ; опубл. 20.07.2012, Бюллетень изобретений, №20 – 6 с.

Прочие публикации:

1. Medison V. V. Influence of Thermoelectric Current on the Tool Life in Cutting Titanium Alloys / V. V. Medison // Russian Engineering Research, 2014, Vol. 34, №. 4, pp. 235–238.
2. Medison V.V. Use of electrical insulation of the cutting tool to increase tool life when machining titanium alloys / V.V. Medison, V.F. Pegashkin, V.I. Golubev // International Journal of Advanced Manufacturing Technologies, 2014, Vol. 74, pp. 599 – 614
3. Медисон, В. В. Исследование поверхностных свойств термически оксидированных титановых сплавов / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев // Материалы 15-й Международной научно-практической конференции «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта : теория и практика», Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2013. С.
4. Медисон, В. В. Способ повышения стойкости металлорежущего инструмента / В. В. Медисон, В. И. Голубев // Материалы международной научной школы для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов» – Екатеринбург : УрФУ, 2010. С. 198 – 200
5. Медисон В. В. Разработка способа повышения стойкости металлорежущего инструмента / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин // Научные труды международной заочной конференции «Инженерная поддержка инновации и модернизации». Выпуск 1 – Екатеринбург : ИВТОБ, 2010, С. 149 – 150
6. Медисон, В. В. Исследование удельного электрического сопротивления поверхности титановых сплавов после термического оксидирования / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев, Д. С. Пастухов // XII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар материаловедов-молодых ученых – Екатеринбург : УрФУ, 2011. С. 328 – 330
7. Медисон, В. В. Разрыв цепи термотока как метод повышения стойкости резцов при обработке титановых сплавов / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев // Международная заочная научно-практическая конференция

- «Проблемы науки, техники и образования в современном мире»: сборник научных трудов – Липецк: ВОИР, 2012. С. 116 – 118
8. Медисон, В. В. Исследование термоЭДС в термopарах «сталь Р6М5 – титановый сплав» / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин, В. И. Голубев, Д. С. Пастухов, В. В. Медведев // Международная заочная научно-практическая конференция «Проблемы науки, техники и образования в современном мире»: сборник научных трудов – Липецк: ВОИР, 2012. С. 115 – 116
 9. Медисон, В. В. Разработка нового способа повышения стойкости режущего инструмента при обработке титановых сплавов // Сборник материалов всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием «Инженерная мысль машиностроения будущего» – Екатеринбург : УрФУ, 2012. С. 196 – 198
 10. Медисон, В. В. Влияние разрыва цепи термотока на износ / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин // Сварка. Реновация. Триботехника : тезисы докладов VI Уральской научно-практической конференции –Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2013. С. 57 – 60
 11. Медисон, В. В. О повышении стойкости металлорежущего инструмента методом разрыва цепи термотока / В. В. Медисон, В. И. Голубев // Материалы региональной научно-практической конференции «Молодежь и наука» (21 мая 2010 г.) – Нижний Тагил : НТИ (ф) УГТУ-УПИ, 2010. С. 261 – 262
 12. Медисон, В. В. Установка для измерения силы резания при точении / В. В. Медисон // Материалы международной научно-практической конференции «Молодежь и наука» (25 мая 2013 г.) – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2013. С. 73 – 75
 13. Медисон, В. В. Применение диффузионной модели вклада термоэлектрических процессов в изнашивание для оценки коэффициента повышения стойкости электрически изолированного режущего инструмента / В. В. Медисон, В. Ф. Пегашкин // Материалы региональной научно-технической конференции «Наука – образование – производство опыт и перспективы развития» – Нижний Тагил: НТИ (ф) УрФУ, 2011. Т.1. С. 60 – 61
 14. Медисон, В. В. Установка для исследования термоЭДС при резании металлов / В. В. Медисон // Материалы региональной научно-технической конференции «Наука – образование – производство» – Нижний Тагил : НТИ (ф) УрФУ, 2013. С. 32 – 36
 15. Медисон, В. В. Влияние термоэлектродвижущих сил на стойкость металлорежущего инструмента. / В. В. Медисон, В. И. Голубев // Сборник трудов III региональной научно-технической конференции «Образование и производство» – Верхняя Салда : ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», УГТУ-УПИ, 2009. С. 199 – 201
 16. Медисон, В. В. Способ повышения стойкости металлорежущего инструмента / В. В. Медисон, В. И. Голубев // Материалы IV региональной

научно-технической конференции «Образование и производство» – Верхняя
Салда : ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», УрФУ, 2010. С. 166 – 168

Формат 60×90 1/16

Бумага офсетная

Гарнитура «Таймс»

Усл. печ. л. 1,16

Уч.-изд. л. 1,21

Тираж 120 экз

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет
Имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59