

На правах рукописи

КОШЕЛЕВА Елена Викторовна



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА
ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА
«ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ» ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

Специальность: 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель

Максаров Вячеслав Викторович, д-р техн. наук, проф., декан Электромеханического факультета, зав. кафедрой машиностроения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Официальные оппоненты:

Чулкин Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология судового машиностроения» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»

Андреев Юрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент факультета систем управления и робототехники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

Защита диссертации состоится 18 декабря 2018 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.30 при ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по адресу 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, лабораторно-аудиторный корпус, аудитория кафедры «ТКМ и М».

Отзыв на автореферат в двух экземплярах (заверенных печатью) просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте www.spbstu.ru.

Телефон для справок 8(812) 552-95-30.

Автореферат разослан « » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. тех. наук, доцент



КУНКИН
Сергей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время материалы на основе титана нашли широкое применение во многих отраслях промышленности: авиационной и химической, приборостроении, горном машиностроении и других.

Как известно, к технологическому процессу изготовления деталей из титановых сплавов предъявляются высокие требования с ограничением использования металлорежущего оборудования. Увеличение температуры в зоне резания ведет к увеличению сил резания и ускоренному наростообразованию, создавая на поверхности обрабатываемого изделия пассивирующую оксидную пленку. Эти явления повышают уровень виброактивности при изготовлении, а на этапах финишной обработки абразивным инструментом приводят к образованию поверхностных дефектов (шаржированию), что в значительной мере снижает качество и точность прецизионных поверхностей изделия. Устранить процесс шаржирования поверхности при высокой производительности обработки таких сплавов возможно применением технологии обработки лезвийным инструментом.

Степень разработанности. Изучению технологии механической обработки труднообрабатываемых высокопластичных материалов лезвийным инструментом посвящен ряд фундаментальных исследований отечественных ученых: С.А. Добрынина, И.Г. Жаркова, В.Л. Заковоротного, А.В. Кудинова, В.Л. Вейца, Б.К. Вульфа, А.М. Каратыгина, В.А. Кривоухова, П.Г. Петрухи, а также зарубежных ученых L.V. Colwell и научных коллективов I.J. Armarego и R.H. Brown и др.

Тем не менее, вопросами обработки материалов на основе титана с обеспечением динамической стабильности процесса и высокого качества поверхности на станках с ЧПУ не уделялось достаточного внимания.

В связи с этим, необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, основывающихся на комплексном подходе к обеспечению динамической устойчивости технологической системы механической обработки (ТСМО) на основе применения новых методов, позволяющих обеспечивать

снижение автоколебательного процесса механической обработки вследствие удаления наростообразования с режущей кромки инструмента и оптимизации трудоемкого технологического процесса механической обработки, что является актуальной технологической задачей, требующей своего решения.

Цель работы заключается в разработке технологии изготовления прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения» из титановых сплавов, обеспечивающей заданные показатели шероховатости поверхности и параметров формы созданием локальных неоднородных структур предварительным деформированием на обрабатываемой поверхности.

Для достижения цели определены **задачи исследования:**

- провести анализ и обобщение теоретических и экспериментальных данных, приведенных в литературных источниках по теме исследования;

- разработать способ технологического обеспечения геометрических параметров формы прецизионных поверхностей при изготовлении деталей типа «тел вращения» посредством подготовки поверхности предварительным локальным пластическим деформированием (ПЛПД) в зоне снимаемого припуска по заданной траектории с последующими этапами механической обработки;

- разработать устройство предварительного локального пластического воздействия для создания в зоне срезаемого припуска структуры с измененными механическими свойствами, отличными от основного материала;

- определить влияние параметров создаваемой измененной структуры на технологическое обеспечение качественных и точностных характеристик поверхности типовых деталей на примере детали «опора»;

- определить влияние вибрационной активности подсистемы «инструмент-заготовка» на геометрические и механические параметры обрабатываемой поверхности детали «опора» из титановых сплавов;

- разработать математическую модель технологической системы, учитывающую параметры созданной измененной структуры посредством предварительного локального пластического

деформирования в процессе изготовления прецизионной поверхности деталей типа «тел вращения» из труднообрабатываемых высокопластичных титановых сплавов;

- предложить практические рекомендации по выбору параметров создаваемой измененной структуры, позволяющих динамически стабилизировать процесс механической обработки на чистовом этапе обработки лезвийным инструментом, обеспечивая требуемые геометрические показатели и шероховатость поверхности детали «опора».

Научная новизна заключается в выявлении взаимосвязи между параметрами качества поверхности изделия и динамическими характеристиками процесса механической обработки, позволяющей совершенствовать технологию изготовления прецизионных поверхностей детали типа «тел вращения» из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования поверхности детали с последующей лезвийной обработкой, обеспечивающего кратковременное изменение процесса резания для регулирования процесса наростообразования, обеспечивающих заданные параметры точности и шероховатости поверхности.

Объектом исследования является обеспечение шероховатости и точности формы прецизионных поверхностей в технологическом процессе изготовления деталей типа «тел вращения» из титановых сплавов за счет применения метода предварительного локального пластического деформирования.

Предметом исследования являются параметрические характеристики шероховатости и точности формы прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения» из титановых сплавов в технологическом процессе механической обработки.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Предложенные способ и устройство для создания локально-измененной структуры посредством пластического деформирования на поверхностном слое заготовки позволяют обеспечивать изменение амплитудных характеристик автоколебательного процесса и своевременное удаление наростообразования с режущей кромки

инструмента, и получить требуемые параметры качества и точности прецизионной поверхности детали «опора».

Разработанная математическая модель, учитывающая переходные процессы в зоне стружкообразования, применяется для оценки влияния режимов резания на обеспечение требуемых показателей качества и точности обработки прецизионных поверхностей деталей из титановых сплавов.

Методология и методы исследования базировались на современных положениях теории резания материалов, научных основах технологии машиностроения, статистических методах исследований и методиках математического моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ механической обработки заготовки из титанового сплава обеспечивает заданные параметры качества прецизионных поверхностей в технологическом процессе изготовления деталей типа «тел вращения» на основе применения способа предварительной подготовки поверхности пластическим деформированием с последующей механической обработкой и позволяет отказаться от финишной операции шлифования.

2. Математическая модель, учитывающая обобщенную координатную связь между эквивалентными подсистемами «инструмент» и «заготовка» с приведенными параметрами для каждой парциальной системы и взаимодействующими через рабочий процесс, позволяет оценить влияние переходных явлений, вызванных изменением механических свойств структуры заготовок из титановых сплавов посредством локального пластического деформирования, на динамические характеристики упругой системы с целью обеспечения технологических параметров шероховатости и точности при изготовлении прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения», адекватно оценивающая реальные процессы механической обработки.

Степень достоверности и апробация полученных результатов.

Материалы диссертационного исследования представлялись на следующих научно-практических конференциях: V Международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); Международном форуме – конкурсе молодых ученых «Проблемы

недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); 4-ой Международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); I Научно-практической конференции молодых специалистов (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); Международной конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.); Конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.); Международной конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.);

В полном объеме диссертация заслушана и одобрена на заседании кафедры машиностроения ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» в 2018 г. Методика использования предварительного локального пластического деформирования на чистовом этапе механической обработки опробована в производственном процессе предприятий АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР» и АО «Мера».

Отдельные научные положения работы приняты к внедрению в учебный процесс подготовки магистров по направлению 15.04.01 – Машиностроение, программе подготовки «Технология автоматизированного машиностроения» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет».

Структура и содержание. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основные материалы работы изложены на 173 страницах машинописного текста, в том числе содержат 11 таблиц, 76 рисунков, 114 наименований литературы и 8 приложений.

Работа соответствует паспорту специальности – 05.02.08 «Технология машиностроения». Согласно формуле специальности, в ней **«совершенствуются существующие и разрабатываются новые методы обработки и сборки с целью повышения качества изделий машиностроения и снижения себестоимости их выпуска»** в соответствии с пунктом (4), а также **«соблюдается технологическое обеспечение и повышение качества шероховатости поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин»** в соответствии с пунктом (7).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, проведен анализ состояния вопроса, цель и задачи научного исследования, научная новизна и практическая ценность.

В первой главе совершен обзор состояния актуальной задачи, направленной на обеспечение заданных показателей качества прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения». Проведенный анализ чертежа типовой детали «опора» позволил определить поверхность, к которой на этапе изготовления предъявляются повышенные требования по шероховатости поверхности. На основании предъявляемых требований произведен анализ существующих методов и способов, позволяющих обеспечить заданное качество прецизионной поверхности при изготовлении детали «опора» посредством снижения уровня вибраций в технологической системе механической обработки. В соответствии с целью работы проведенный анализ позволил сформулировать задачи планируемых экспериментальных исследований.

Во второй главе рассматриваются метод и устройство,

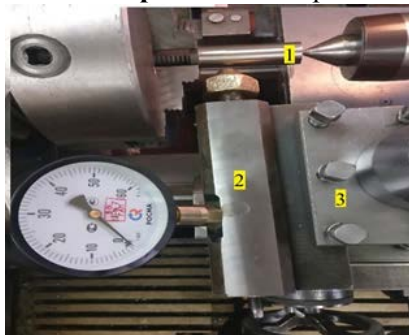


Рисунок 1 – Создание зоны локального пластического деформирования, где:

1 – заготовка; 2 – приспособление;
3 – резцедержатель

позволяющие обеспечить требуемые показатели качества поверхности в технологическом процессе изготовления деталей типа «тел вращения».

На первом этапе, посредством устройства для ПЛПД, осуществляется внедрение индентора высокой твердости в поверхностный слой заготовки (Рисунок 1). Последующее кинематическое перемещение устройства осуществляется по заданной траектории относительно

заготовки, формируя зону с локальной пластической деформацией. По окончании воздействия в структуре металла возникают концентраторы остаточных напряжений, снижающие способность

поверхности к дальнейшему пластическому деформированию. При этом силовое воздействие индентора на заготовку предварительно воспроизводилось в программной среде ANSYS 17.1. Результаты исследований позволили установить оптимальное значение давления для исследуемого титанового сплава $P_{\text{ПЛПД}} = 0.8$ МПа, распространяющегося на глубину $t_c' = 0.02$ мм (Рисунок 2).

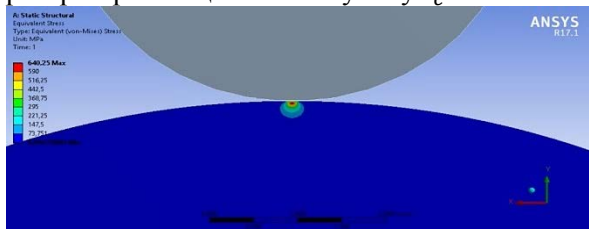


Рисунок 2 –
Моделирование
процесса локальной
пластической
деформации

Подтверждение полученных данных производилось экспериментально посредством измерения микротвердости на микрошлифах из титановых образцов с использованием микротвердомера модели ПМТ-3. Так при нагрузке $P_{\text{ПЛПД}} = 0.8$ МПа глубина воздействия составила $t_c = 0.022$ мм. Расхождение между экспериментальными и промоделированными данными не превышает 13% (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных и промоделированных данных процесса пластического деформирования исследуемого титанового сплава

Второй этап заключается в механической обработке заготовки с локально деформированной структурой. При вхождении инструмента в область с неоднородной зоной происходит изменение угла сдвига формирующейся стружки. Это явление обеспечивает срыв нароста с режущей кромки инструмента, что вызывает снижение

виброактивности технологической системы, оказывая положительное влияние на формирование точностных и качественных параметров обработанной поверхности при механической обработке с использованием высокоавтоматизированных станков с ЧПУ.

В третьей главе представлены этапы разработки математической модели ТСМО: выявлены основные подсистемы; определены взаимосвязи между подсистемами; установлены числа степеней свободы, описывающие поведение динамической системы. На основании решенных задач и проведенной аппроксимации, разработана эквивалентная математическая модель ТСМО деталей типа «тел вращения», состоящая из подсистем «заготовка» (U , W) и «инструмент» (x , y), связь которых осуществляется через процесс стружкообразования. Исходная система уравнений эквивалентной математической модели ТСМО представляется в виде нелинейных дифференциальных уравнений. Преобразование уравнений осуществляется по методике, предложенной проф. В.Л. Вейцем. Полученная математическая модель позволяет описать поведение четырехконтурной модели ТСМО:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{x2}^2 \cdot \ddot{x} + (T_{x1} + T_{x3}) \cdot \dot{x} - T_{x3} \dot{U} + 2x - U = Q \\ T_{y2}^2 \cdot \ddot{y} + (T_{y1} + T_{y3}) \cdot \dot{y} - T_{y3} \dot{W} + 2y - W = P \\ T_{U2}^2 \cdot \ddot{U} + (T_{U1} + T_{U3}) \cdot \dot{U} - T_{U3} \dot{x} + 2U - x = -Q \\ T_{W2}^2 \cdot \ddot{W} + (T_{W1} + T_{W3}) \cdot \dot{W} - T_{W3} \dot{y} + 2W - y = -P \\ (T_p + T_{p1}) \cdot \dot{P} + P = -(k_x - k_{px}) \cdot (x - u) - \\ - [T_{ky1} - k_{py} \cdot (T_p + T_{p2})] \cdot (\dot{y} - \dot{W}) + k_{py} \cdot (y - W) - \\ - [k_x \cdot T_{p1} - k_{px} \cdot (T_p + T_{p2})] \cdot (\dot{x} \cdot \dot{U}) \\ T_Q \dot{Q} + Q = P - T_{kx} \cdot (\dot{x} - \dot{U}) - T_{ky2} \cdot (\dot{y} - \dot{W}) \end{array} \right. , \quad (1)$$

где Q – сила трения; P – сила резания; T_{x2} , T_{y2} , T_{U2} , T_{W2} – постоянные времени контуров; T_{x1} , T_{y1} , T_{U1} , T_{W1} , T_{x3} , T_{y3} , T_{U3} , T_{W3} – постоянные времени демпфирования контуров; T_{ky1} , T_{ky2} , T_{kx} – постоянные времени демпфирования от колебания скорости резания; k_x – коэффициент передачи замкнутого контура и замкнутой системы; T_p – время запаздывания силы резания; T_Q – время запаздывания силы трения; k_{px} , k_{py} , T_{p1} , T_{p2} – коэффициенты и постоянные времени, учитывающие особенности процесса стружкообразования.

$$T_{P1} = \frac{\beta_2}{(c_1 + c_2)}, \quad (2)$$

$$T_{P2} = \frac{c_1 \cdot \beta_2 \cdot (c_1 + c_2)}{(c_1 + c_2) \cdot c_1 \cdot c_2} = \frac{\beta_2}{c_2}, \quad (3)$$

$$k_{Px} = \frac{1}{\xi} \cdot \frac{t_{рез} \cdot b_{рез} \cdot \left(\frac{c_1 \cdot c_2}{(c_1 + c_2)}\right)}{V_s \cdot \tau \cdot c_x}, \quad (4)$$

$$k_{Py} = \frac{t_{рез} \cdot b_{рез} \cdot \left(\frac{c_1 \cdot c_2}{(c_1 + c_2)}\right)}{V_s \cdot \tau \cdot c_x}, \quad (5)$$

где c_1 – модуль упругости; c_2 – модуль пластичности; β_2 – предел текучести; $t_{рез}$ – глубина резания; $b_{рез}$ – ширина резания; V_s – статистическая составляющая скорости резания; τ – запаздывание; c_x – жесткость; ξ – коэффициент усадки стружки.

Снижение амплитуды автоколебательного процесса в эквивалентной математической модели ТСМО осуществляется через изменение механических свойств снимаемого припуска, которые выражаются в модели (1) через параметры (2) - (5). При обработке исследуемого титана, где участок не подвержен воздействию, механические свойства принимают значения $R_1\{c_1, c_2, \beta_2\}$ (Рисунок 4, а). В том случае, когда происходит вхождение инструмента в область с локально измененной структурой, механические свойства переходят на уровень - $R_2\{c'_1, c'_2, \beta'_2\}$ (Рисунок 4, б). Механические свойства получены на универсальной разрывной машине модели *LFM-Tor* 50 кН.

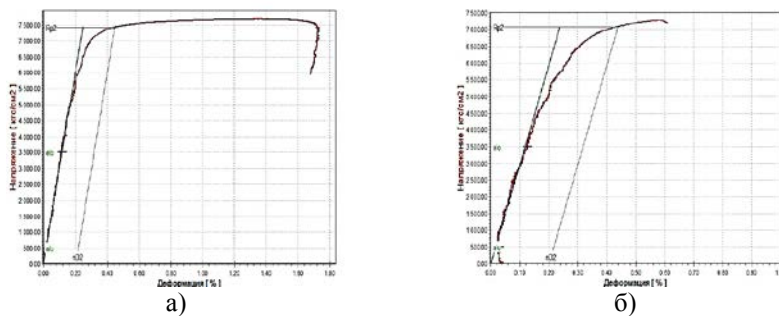


Рисунок 4 – Графики напряжение-деформация при растяжении стандартного образца из титана марки *Ti-4.5Al-2V* (а) и с использованием локального пластического деформирования (б)

Регулирование глубины изменяемой структуры в четырехконтурной математической модели осуществляется через коэффициент усадки стружки ξ . Усадка стружки определялась с использованием локального пластического воздействия ξ' (Рисунок 5, б, г, е) и без применения метода ξ (Рисунок 5, а, в, д).

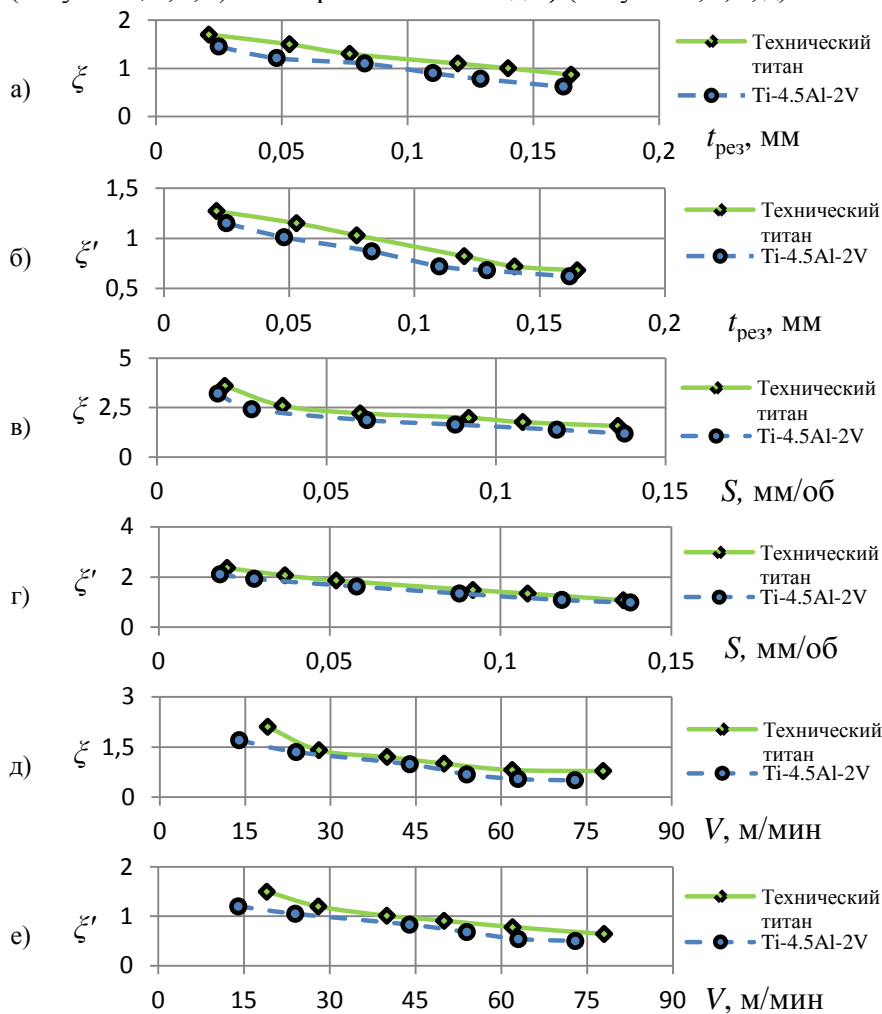


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента усадки стружки от глубины (а, б), подачи (в, г) и скорости резания (д, е)

Тогда смена механических свойств изготавливаемого изделия в имитационной модели ТСМО можно представить как периодический переход параметров с одних значений $R_1\{c_1, c_2, \beta_2, \xi\}$ на другие $R_2\{c'_1, c'_2, \beta'_2, \xi'\}$. За ввод и вывод изменяемых параметров рабочего процесса в математической модели отвечает переключатель R_i :

$$R_i = \begin{cases} \text{Если } T_S: t_0 \leq t_1; R_1\{c_1, c_2, \beta_2, \xi\}. \\ \text{Если } T_C: t_1 < t_2; R_2\{c'_1, c'_2, \beta'_2, \xi'\}; \sigma = \frac{P}{t_{\text{рез}} \cdot b_{\text{рез}}} \\ \sigma \geq \sigma_{\text{доп}} \rightarrow R_2 = 0. \end{cases}, \quad (7)$$

где R_i – параметр, отражающий механические свойства в исходном металле и в зоне пластического воздействия; T_G – стадия обработки за один оборот заготовки; T_S – стадия обработки в исходном металле; T_C – стадия обработки в зоне с измененной структурой; $t_0 \dots t_1$ – диапазон обработки в исходном металле; $t_1 \dots t_2$ – диапазон обработки в измененной структуре; σ – расчетные напряжения; $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимые напряжения.

Подставив экспериментально полученные параметры в созданный виртуальный стенд (Рисунок 6), на осциллограмме виброускорений зафиксировано положительное влияние заложенной локальной пластической деформации на подавление автоколебаний.

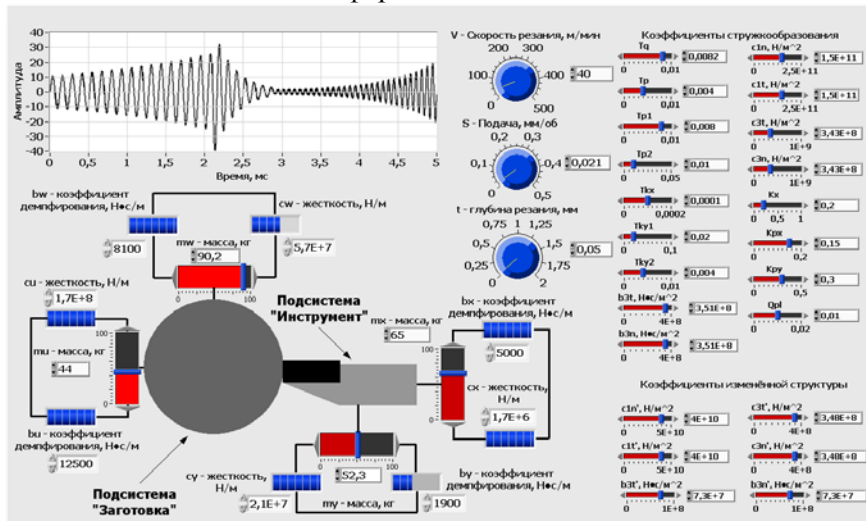


Рисунок 6 – Лицевая панель вибродиагностического стенда

Исходя из полученных параметров расчетных амплитуд виброускорений, геометрических показателей режущего инструмента, а также режимов механической обработки, получены следующие графические зависимости шероховатости поверхности обрабатываемого изделия. При этом скорость обработки варьировалась в диапазонах от 35 до 65 м/мин с шагом в 5 м/мин, глубина резания выбиралась постоянной $t_{рез} = 0.05$ мм (Рисунок 7).

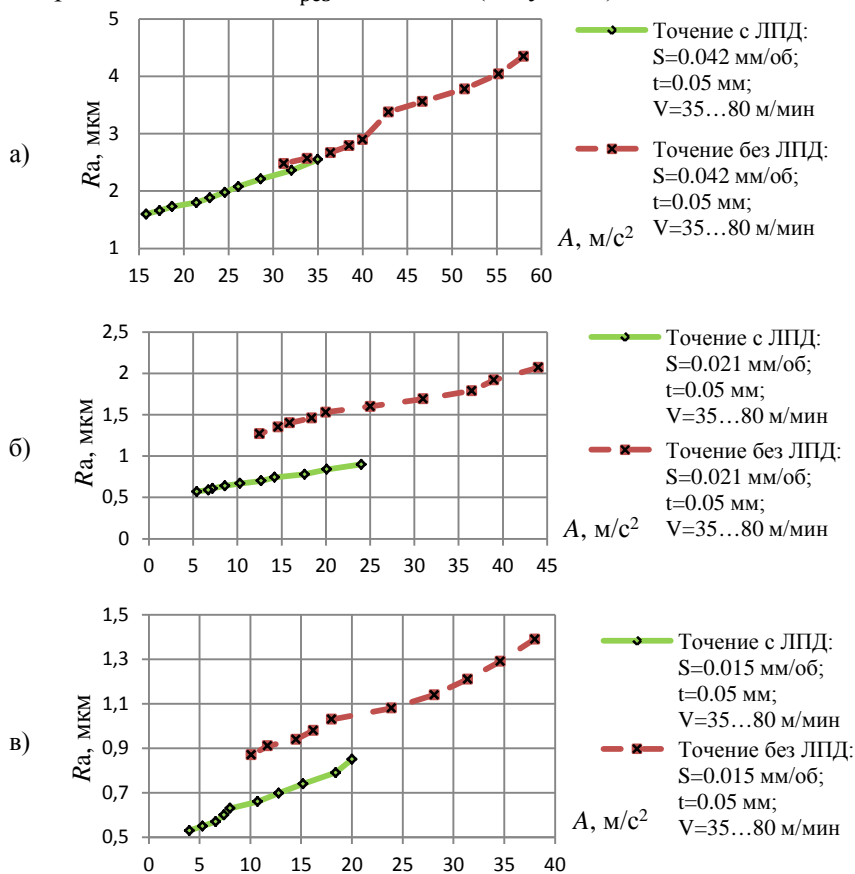


Рисунок 7 – Зависимость шероховатости поверхности от амплитуды автоколебательного процесса, где: а) – $S = 0.043$ мм/об; б) – $S = 0.021$ мм/об ; в) – $S = 0.015$ мм/об

В четвертой главе проведены исследования виброустойчивости исходной системы и системы с внесенными дополнительными параметрами, в результате которых получена

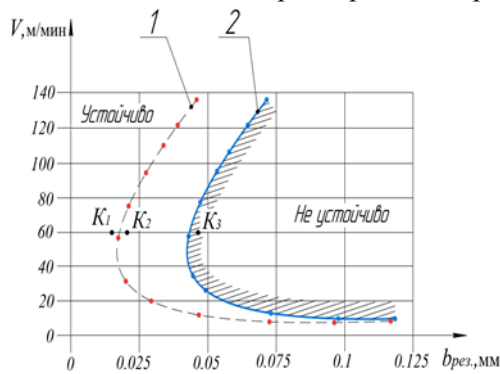


диаграмма области устойчивости при механической обработке используемого сплава в границах параметров скорости резания V и глубины резания $b_{рез}$. На диаграмме (Рисунок 8) представлены кривые распределения граничных условий, отражающие область устойчивости системы при механической обработке заготовки с

Рисунок 8 – Граница области устойчивости, где: 1 – традиционное точение; 2 – точение с ПЛПД локально измененной структурой и при стандартном процессе изготовления. Результаты экспериментальных исследований виброактивности в выбранных точках графика устойчивости представлены на Рисунке 9.

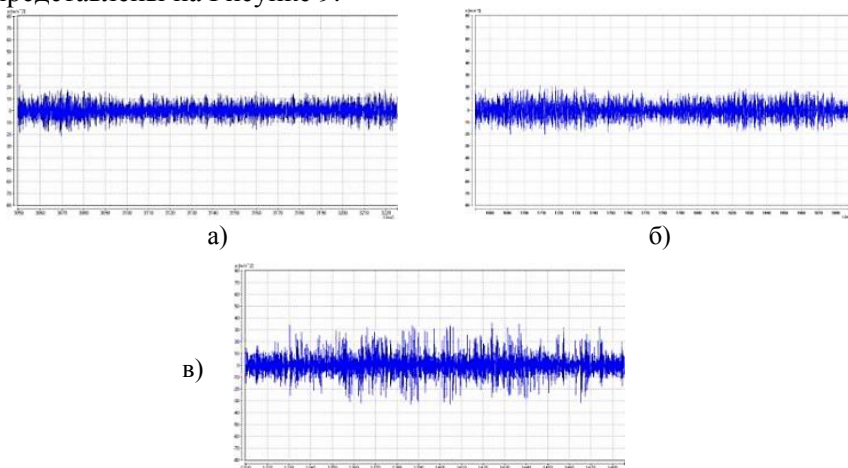


Рисунок 9 – Виброграммы в точках графика устойчивости, где: а) – K_1 ; б) – K_2 ; в) – K_3

Режимные параметры механической обработки в точках K_1 , K_2 , где: K_1 – произвольная точка, принятая для традиционного процесса изготовления; K_2 – точка для процесса изготовления с локально неоднородной структурой, которые обеспечивают устойчивость системы по режимам скорости резания (Рисунок 9 а, б). В то время как в точке K_3 , находящейся в поле за границей параметров устойчивости, система определяется как динамически не устойчивая (Рисунок 9, в).

Результаты серии экспериментов показали, что при чистовой механической обработке с применением метода предварительного локального пластического деформирования, где $t_{рез} = 0.05$ мм и $t_c = 0.022$ мм, которые являются постоянными величинами, обеспечивается получение заданной шероховатости поверхности для исследуемого титанового сплава.

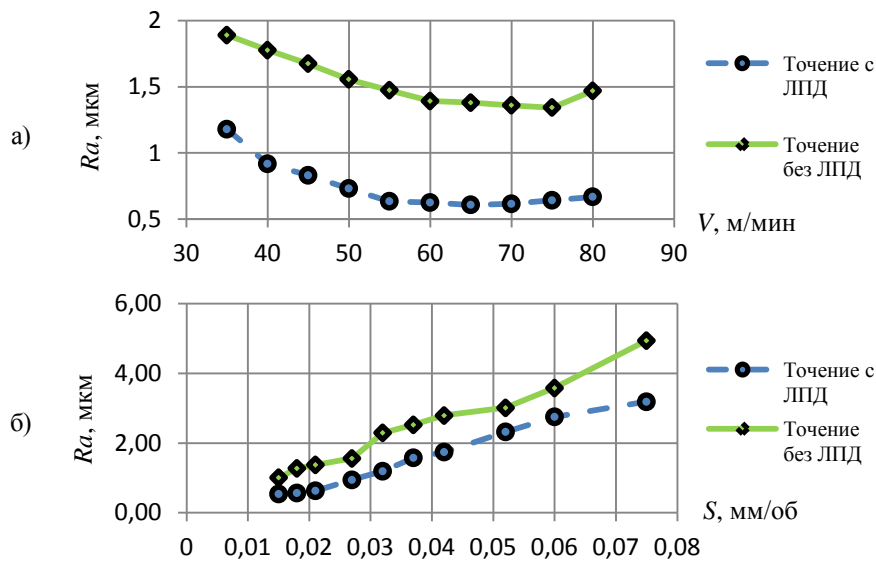


Рисунок 10 – Сравнительные исследования шероховатости поверхности по параметру Ra , где: а) – при изменяемой скорости обработки; б) – при изменяемой величине подачи

Попутно установлен положительный эффект асинхронного действия переменных составляющих локально измененной структуры на сегментацию сливной стружки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Проанализировав современное состояние проблемы обеспечения заданных параметров точности формы и шероховатости поверхностного слоя в технологическом процессе при изготовлении деталей из титановых сплавов типа «опора», применяемых в морском приборостроении, было установлено, что усовершенствование и разработка новых технологических решений и средств, направленных на обеспечение заданных показателей точности формы и шероховатости поверхности детали, является актуальной научно-технической задачей. Анализ научно-технической литературы по данному вопросу позволил сделать вывод о недостаточной изученности особенностей технологического процесса изготовления прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения» из титановых сплавов. Постановка задачи такого рода приобретает особую актуальность при изготовлении изделий на высокоавтоматизированных линиях механической обработки с использованием обрабатывающих центров с ЧПУ.

1. Выявлены основополагающие закономерности изменения параметров качества и точности формы при изготовлении изделий типа «тел вращения» из титановых сплавов.

2. Определено влияние интенсивности возникающих автоколебаний в подсистемах «инструмент» и «заготовка» на технологическое обеспечение показателей качества прецизионных поверхностей типовых изделий на примере детали «опора», изготавливаемых из титановых сплавов.

3. Разработан и предложен способ технологического обеспечения геометрических и механических параметров формы прецизионных поверхностей при изготовлении типовых изделий на примере детали «опора», позволяющий на этапе чистовой операции снижать амплитуду автоколебательного процесса вследствие создания локально измененной структуры в зоне резания по сравнению с исходным материалом (Патент №2643022).

4. Разработано и предложено устройство для создания в зоне срезаемого припуска структуры с измененными механическими свойствами, отличными от основного материала, на основе

предварительного локального пластического деформирования (Патент №177001).

5. Предложен и обоснован выбор эквивалентной математической модели технологической системы механической обработки детали типа «тел вращения» с учетом параметров создаваемой на поверхности измененной структуры посредством локального пластического деформирования срезаемого слоя.

6. Предложены практические рекомендации по выбору параметров создаваемой измененной структуры, позволяющие динамически стабилизировать подсистему «инструмент-заготовка» на финишном этапе изготовления, обеспечивая заданные параметры поверхности типовых изделий на примере детали «опора».

7. Проведенные экспериментальные исследования по обеспечению заданных геометрических параметров прецизионной поверхности детали «опора» при изготовлении с применением метода локального пластического деформирования показали надежное сегментирование на витки с дроблением высокоактивной стружки, что является актуальной задачей при изготовлении изделий из титановых сплавов в высокоавтоматизированных производствах.

8. На основании параметров, полученных в результате экспериментальных и теоретических исследований, предложен усовершенствованный технологический процесс изготовления деталей типа «тел вращения» в опытно-конструкторском и мелкосерийном производстве с обеспечением заданных показателей шероховатости поверхностного слоя, геометрических параметров точности формы, с сокращением технологического процесса вследствие отказа от операции шлифования, что положительно сказывается на себестоимости выпуска продукции и увеличении производительности.

9. Разработанный и предложенный усовершенствованный технологический процесс изготовления детали «опора» из титановых сплавов с условием применения метода предварительного локального деформирования поверхности, позволяющего периодически изменять механические свойства в определенной зоне, обеспечивающего стабильность колебательного процесса в ТСМО. Апробирование данного технологического решения было проведено в учебном процессе при подготовке магистров по программе подготовки

«Технология автоматизированного машиностроения» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», и ряда предприятий, с подтверждением положительного результата.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:

1. Кошелева, Е.В. Повышение точности и качества изготовления деталей из титана и титановых сплавов на основе предварительного локального пластического деформирования / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева // Качество и жизнь. – 2016.– №3(11). – С. 66–69.

2. Кошелева, Е.В. Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов методом локального пластического деформирования / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева. – 2017.– №1(20)209. – С. 278–281.

3. Кошелева, Е.В. Технологическое обеспечение качества прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения» из титановых сплавов / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, Важенин А.Ю. – Металлообработка. – 2018. – №4(106)/2018. – С. 52–60.

Результаты интеллектуальной деятельности:

4. Кошелева, Е.В. Патент №2643022 «Российская федерация». Способ механической обработки заготовки из титанового сплава / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин – №2643022; заявлено 16.03.2017 г.; опубликовано 29.01.2018 г.

5. Кошелева, Е.В. Патент №177001 «Российская федерация». Устройство для создания предварительного локального пластического деформирования / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин, Т.С. Голиков – №2643022; заявлено 22.03.2017 г.; опубликовано 06.02.2018 г.

Публикации в других отечественных изданиях:

6. Кошелева, Е.В. Анализ методов повышения качества обработки титана и титановых сплавов // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. Том III – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С.65–68.

7. Кошелева, Е.В. Технологическое обеспечение точности и качества изготовления деталей из титановых сплавов для ГАК и ГАС / Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин // V научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» МАГ-2017. Сборник докладов V научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» МАГ-2017 – СПб.: АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», 2017. – С.107-110.

8. Кошелева, Е.В. Технология изготовления прецизионных поверхностей деталей из титановых сплавов с применением метода локального пластического деформирования // Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018»: сборник тезисов. – СПб.: «Горный университет», 2018. – С. 30.

Публикации в иностранных изданиях, в т.ч. издании, индексирующемся в международной базе данных SCOPUS:

9. Kosheleva, E. Qualitätsverbesserung bei der Fertigung der Einzelteile aus Titanlegierungen auf Drehmaschinen durch locale plastische Vorverformung / A. Vazhenin, E. Kosheleva // «Scientific Reports on Resource Issues 2017» Volume 1, 2017. – S. 347–352.

10. Kosheleva, E.V. Improving the quality of manufacturing parts from titanium alloys using the method of preliminary local plastic deformation / D.U. Timofeev, E.V. Kosheleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017.– №87, P.64–67.