ГРНТИ 55.19.03

На правах рукописи

Иванов Дмитрий Вячеславович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЦИКЛОИДАЛЬНОЙ СХЕМОЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-ЩЕЛЕВЫХ СТРУКТУР

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) Министерства образования и науки Российской Федерации «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана» на кафедре «Металлорежущие станки».

Научный руководитель: **Чернянский Петр Михайлович**
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты **Бушуев Владимир Васильевич**,
доктор технических наук, профессор.
Московский государственный технологический университет «Станкин», кафедра «СТАНКИ»
Дьяконова Наталия Павловна,
кандидат технических наук, профессор.
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), кафедра «Технология машиностроения».

Ведущая организация: ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Защита диссертации состоится «2» июля 2014 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005,г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по указанному адресу.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Телефон для справок (499)267-09-63

Автореферат разослан «30» мая 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент Михайлов В.П.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
2051821
Иванов Д.В. Разработка и у
-822

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Наиболее эффективное повышение точности и производительности обработки достигается на базе разработки и использования новых технологий. Для обработки деталей с дискретно-щелевой структурой нами предлагаются новые технологические системы с циклоидальной схемой формообразования (ЦСФ). Детали с дискретно-щелевой структурой, такие как щелевые фильтроэлементы, оребренные теплообменники, оребренные поверхности валов под антифрикционные или износостойкие покрытия, торсионы с упруго-диссипативными свойствами, имеют достаточно широкий спектр применения в различных отраслях промышленности.

Технологические системы с ЦСФ обеспечивают лучшие технические характеристики изделий с дискретно-щелевой структурой и технико-экономические показатели процесса их получения. За счет увеличения плотности расположения щелей повышается проницаемость и тонкость фильтрации в системах очистки воды, нефти и газа, теплопередача в теплообменниках, поверхность сцепления при подготовке изделий под покрытие. Кроме того, обеспечивается возможность получения изделий в виде монодетали, вместо сборочной единицы, что существенно сокращает трудозатраты на их изготовление.

Настоящая работа является развитием исследований, выполненных в МГТУ им. Н.Э. Баумана по созданию новых станков и автоматических линий с циклоидальной схемой обработки, Шаумяном Г.А., Чернянским П.М., Ермаковым Ю.М., Комаровым В.Н., Слипуховым А.И., Ивановым В.С., Куликом В. И., Скибой В.М. (Авторские свидетельства 184580, 222842, 1421460), а также исследований по обработке деталей со щелевой структурой методом деформирующего резания (патент РФ 2044606): Зубковым Н.Н., Овчинниковым А.И., Васильевым С.Г., Слепцовым А. Д.

Разработка и исследования новых технологических систем с циклоидальной схемой формообразования деталей с дискретно-щелевой структурой является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы: Обеспечение параметров технологической системы циклоидального формообразования для получения деталей с заданными геометрическими характеристиками дискретно-щелевой структуры.

Для достижения цели в работе следует решить следующие задачи:

1. Разработать варианты компоновок станков для получения круглопрофильных дискретно-щелевых изделий.
2. Определить геометрические и кинематические параметры технологической системы.
3. На базе концепции циклоидального формообразования разработать математические модели формирования дискретно-щелевого изделия, учитывающих взаимосвязь геометрических и кинематических параметров элементов технологической системы.
4. Разработать методы решения задач анализа и параметрического синтеза по полученным моделям.

Б Г
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

5. Провести численный эксперимент с использованием моделей формообразования.

6. Провести физический эксперимент по получению дискретно-щелевых структур и дать оценку адекватности разработанных моделей.

Методы исследований. Выполнение работы базируется на расчетных и экспериментальных методах исследования. Использованы основные положения технологии машиностроения, компонетики станков, теоретической механики, аналитической геометрии, векторной алгебры. При разработке компоновок станков использован принцип модульного агрегатирования. Проведено векторное моделирование процесса формообразония профиля щели с использованием принципа обращенного движения. Решение модели базируется на итерационных алгоритмах и программных математических пакетах ***Sage*** и ***C++***. Численный эксперимент по получению массивов данных, построению графиков и номограмм при решении математической модели формообразования в задачах анализа и параметрического синтеза проведен с использованием программного пакета ***Math CAD 14***.

Экспериментальные исследования проведены на кафедре МТ-2 МГТУ им. Н.Э. Баумана на лабораторной установке с использованием современных приборов, методов и средств измерения.

Достоверность и обоснованность результатов обусловлена корректным применением математических методов и подтверждена сравнением результатов численного и физического экспериментов.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в математическом описании процесса многолезвийного циклоидального формообразования дискретно-щелевых структур, в том числе:

1. Предложены зависимости, позволяющие определять параметры технологической системы при получении дискретно-щелевых структур.

2. С позиций циклоидального формообразования определены геометрические и кинематические параметры обработки, позволяющие комплексно применять их к внешней, внутренней и охватывающей схемам касания детали и инструмента, к круговому фрезерованию и тангенциальному точению, попутному и встречному способам реализации резания.

3. Разработана математическая модель процесса циклоидального формообразования в виде системы уравнений, увязывающих координаты радиуса- вектора формообразования с текущими координатами центра вращения инструмента и его вершины.

4. Разработаны методы решения математической модели относительно длины щели, межцентрового расстояния и кинематического передаточного отношения движений детали и инструмента.

Практическая значимость работы:

1. Разработаны компоновки станков для получения деталей с дискретно-щелевой структурой различного типоразмера и назначения.

2. Предложены зависимости для определения геометрических параметров структуры в функции от геометрических и кинематических характеристик технологической системы.

3. Разработанные методы решения математической модели циклоидального формообразования щели универсальны применительно к внешней, внутренней и охватывающей схемам касания детали и инструмента, к различным способам лезвийной обработки – фрезерование и тангенциальное точение, различным способам реализации резания – встречное, попутное.

4. На основе математической модели циклоидального формообразования предложены методы расчета межцентрового расстояния и передаточного отношения исполнительных движений, включающие алгоритмы и программы для ЭВМ.

Реализация работы. Результаты работы использованы при выполнении 2-х научно-исследовательских тем по программам Федерального агентства по образованию и в учебном процессе при подготовке учебника «Проектирование автоматизированных станков и комплексов». Три программы для ЭВМ, защищенные свидетельствами госрегистрации, являются интеллектуальной собственностью МГТУ им. Н.Э. Баумана. По оценке ООО «Прайс Эксперт» одной из программ ее стоимость составляет 2019000 руб.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на общеуниверситетской конференции «Студенческая весна 2007», Всероссийской научно-технической конференции «Машиностроительные технологии», Москва, 2008, Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая весна 2008». Работа, выполненная по материалам диссертации, удостоена диплома Министерства образования и науки Российской Федерации по итогам открытого конкурса 2006 г. на лучшую работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам в вузах Российской Федерации.

Публикации: По теме диссертации опубликовано 17научных работ, из них 14 в журналах из перечня ВАК РФ, получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы из 147 наименований и 4 приложений. Работа содержит 205 страниц, в том числе 155 основного текста, 61 рисунок, 24 таблицы, а также 50 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность научно-технической задачи разработки технологических систем с ЦСФ для получения изделий с дискретно-щелевой структурой, необходимой для создания высокотехнологичного и высокопроизводительного оборудования.

В первой главе проводится анализ существующей технологической базы в области формообразования круглопрофильных деталей с дискретно-щелевой структурой. Рассматриваются варианты их получения и области применения.

Наиболее широко используют изделия со сквозной структурой в конструкциях щелевых фильтров для очистки воды, нефти и газа.

Средняя тонкость фильтрации для каркасно-проволочных фильтров - от 65 до 300 , для сетчато-проволочных – от 80 до 400 мкм. Их скважность, т.е.

доля площади щелей от общей площади фильтра, составляет от 7% до 20%.

Другим применением сквозных структур являются дренажно-распределительные устройства в системах подготовки воды, обеспечивающие равномерность распределения воды по площади фильтра.

Новые возможности по повышению скважинности и тонкости фильтрации в сочетании с обеспечением регенерации фильтров, наряду с сокращением технологического цикла изготовления фильтроэлемента, открывает лезвийная обработка с циклоидальной схемой формообразования (ЦСФ). Фильтроэлемент, изготовленный по этой схеме, в отличие от рассмотренных выше конструкций, выполненных в виде сборочных единиц, представляет собой монодеталь, изготовленную одним технологическим приемом, что существенно снижает его себестоимость.

Изделия с глухой щелевой структурой в виде оребренных труб нашли применение в подогревателях, калориферах, конденсаторах воздушного охлаждения, батареях отопления в энергетике, химической, и других отраслях промышленности.

Одним из способов оребрения труб является метод прикорневой приварки ленты к трубе непрерывным швом с использованием токов высокой частоты. Биметаллические оребренные трубы получают методом поперечно-винтовой прокатки. Производительность метода составляет от 1 до 10 м/мин.

Предложенный в МГТУ им. Н. Э. Баумана лезвийный метод оребрения, получивший название «деформирующее резание» (ДР), сочетает процесс подрезания припуска и пластического деформирования подрезанного поверхностного слоя. Способ, незначительно уступая по производительности поперечно-винтовой прокатке, существенно превосходит ее по плотности оребрения и получаемой площади теплообмена.

ЦСФ позволяет получать глухие структуры на внешней поверхности теплообменных труб, существенно повышая ее площадь, а, следовательно, эффективность теплообмена.

Важным вариантом применения щелевых структур с глухими щелями является оребрение при подготовке поверхности деталей в реновационных технологиях для восстановления изношенной поверхности валов и технологиях нанесения защитных износостойких, коррозонностойких и антифрикционных покрытий наплавкой и плазменным напылением. Такое оребрение производят накаткой, нарезанием «рваной» резьбы или кольцевых канавок, точением с ДР.

Технологии оребрения с ЦСФ по сравнению с наиболее распространенным способом_«рваной» резьбы более мобильны в плане управления параметрами щелевого рельефа и обеспечивают производительность обработки изделий до десяти метров в минуту, что существенно превосходит возможности других способов. Кроме того, достигается тонкость структуры, принципиально не воспроизводимая другими способами, с шириной щели в диапазоне от 10 до 100 мкм, обеспечивающая большую площадь, а, следовательно, прочность сцепления подложки с покрытием.

Проведенный анализ позволил констатировать, что технологии обработки с ЦСФ позволяют получать изделия, как со сквозной, так и с глухой щелевой

структурой различного назначения.

В выполненных ранее работах по обработке деталей со щелевой структурой нет сведений о циклоидальном характере ее формообразования, не приведены данные о формировании таких важных параметров дискретно-щелевой структуры, как длина щели и межщелевой перемычки, углы подъема винтовой линии расположения щелей, окружной и осевой шаг расположения щелей. Не раскрыта их взаимосвязь с геометрическими и кинематическими параметрами технологической системы.

Задачами исследования являются: разработка кинематической структуры и компоновки технологических систем с ЦСФ, математическое моделирование процесса циклоидального формообразования, отражающее различные схемы обработки, геометрию инструмента, соотношение характеристик формообразующих движений по величине и направлению, разработка алгоритмов и программ по решению моделей в задачах анализа и параметрического синтеза.

Во второй главе проводится анализ и разработка структуры и компоновок станков с ЦСФ.

Для обеспечения обработки деталей с дискретно-щелевой структурой поверхности кинематика формообразования станка должна содержать как минимум два движения заготовки и инструмента.

На основе анализа серийно выпускаемых токарно-фрезерных станков установлено, что они не могут быть использованы для получения деталей с дискретно-щелевой структурой поверхности без существенной модернизации их конструкции.

В соответствии с общей концепцией модульного построения компоновки технологических систем одним из вариантов создания станка для получения дискретно-щелевых структур является модернизация базового токарного или фрезерного оборудования, путем оснащения его дополнительным блоком вращения инструмента или детали.

Построение компоновок станков базировалось на основных принципах их формализации, отражающей движения относительно заданных координат и способов сопряжения исполнительных узлов.

Конфигурация дискретно- щелевой структуры является пространственной и многопараметрической (рис.1). Она характеризуется геометрией отдельно взятой щели и расположением щелей на поверхности детали. Ее получение на внешней или внутренней поверхности возможно на основе внешней, внутренней и охватывающей схем касания инструмента и заготовки (рис.2). Кинематическая структура формообразования содержит одно поступательное и два вращательных движения вокруг центров $O_д$ и $O_и$, показанных стрелками. Возможен частный вариант использования структуры из двух вращательных движений. Станок с такой структурой за счет меньшего количества подвижных стыков обладает повышенной жесткостью и точностью. Однако его технологические возможности ограничены



Рис.1. Фрагмент детали с щелевой структурой

использованием специального многолезвийного инструмента с винтовым расположением резцов.

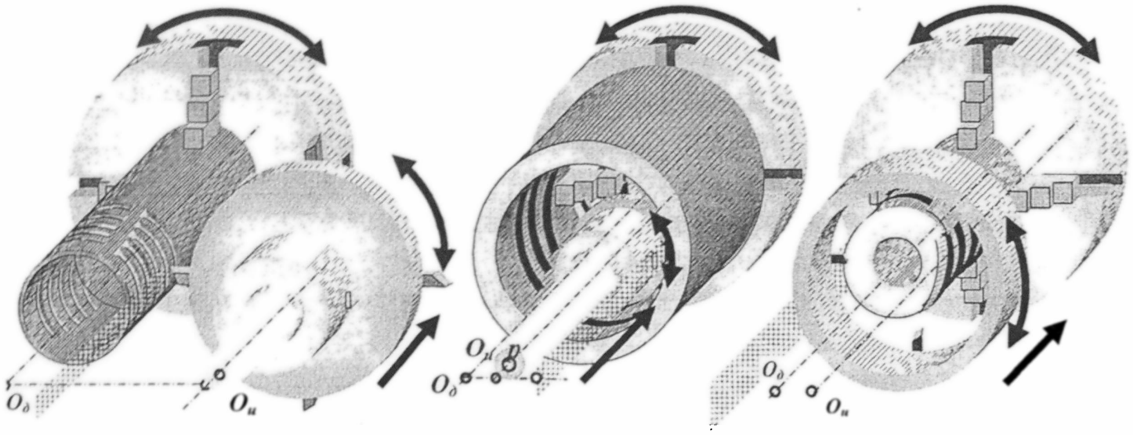


Рис.2. Варианты компоновки шпиндельной группы относительно зоны резания для внешней (а), внутренней (б), охватывающей (в) схем касания технологической пары и структура формообразующих движений

На следующем этапе проведена блочно-символьная формализация компоновки с привязкой к пространственной системе координат XYZ и базовому неподвижному блоку *О*. Вариант компоновки станка с ЦСФ, на базе модернизации токарного станка с ЧПУ мод. МК7601Ф3 для обработки среднегабаритных изделий приведен на рис.3.

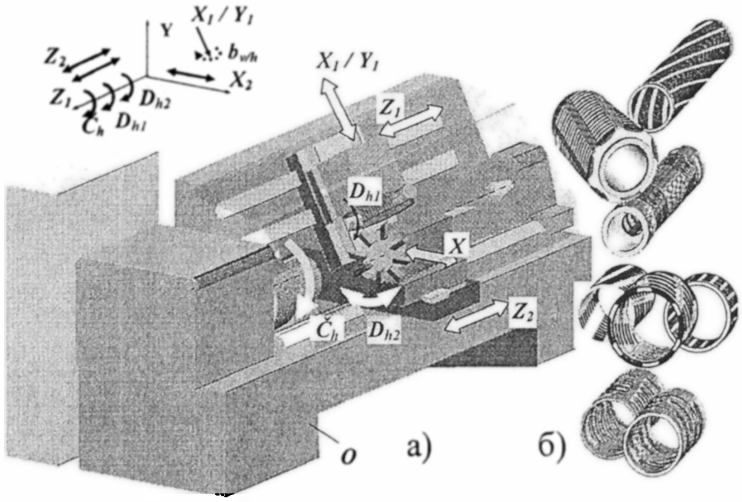


Рис.3. Вариант компоновки станка с ЦСФ (а) для получения среднегабаритных деталей (б)

<u>В третьей главе</u> изложена разработка циклоидальной модели формообразования дискретно-щелевой структуры, увязывающей входные геометрические параметры схемы касания пары деталь-инструмент и параметры формообразующих движений станка с выходными геометрическими параметрами дискретно-щелевой структуры.

Идентифицированы основные геометрические параметры дискретно-щелевой структуры, приведенные на развертке поверхности (рис.4), и блок-схеме формирования параметров структуры (рис.5). Функциональные взаимосвязи параметров

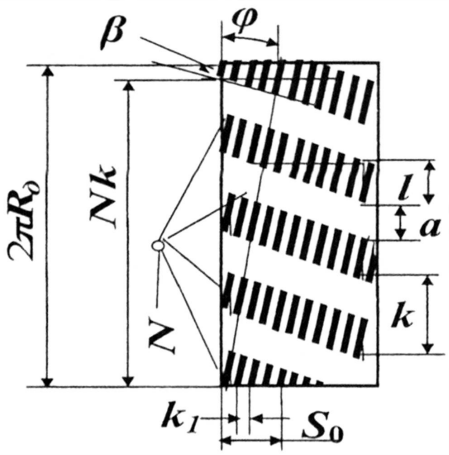


Рис.4. Основные параметры щелевой структуры на развертке поверхности

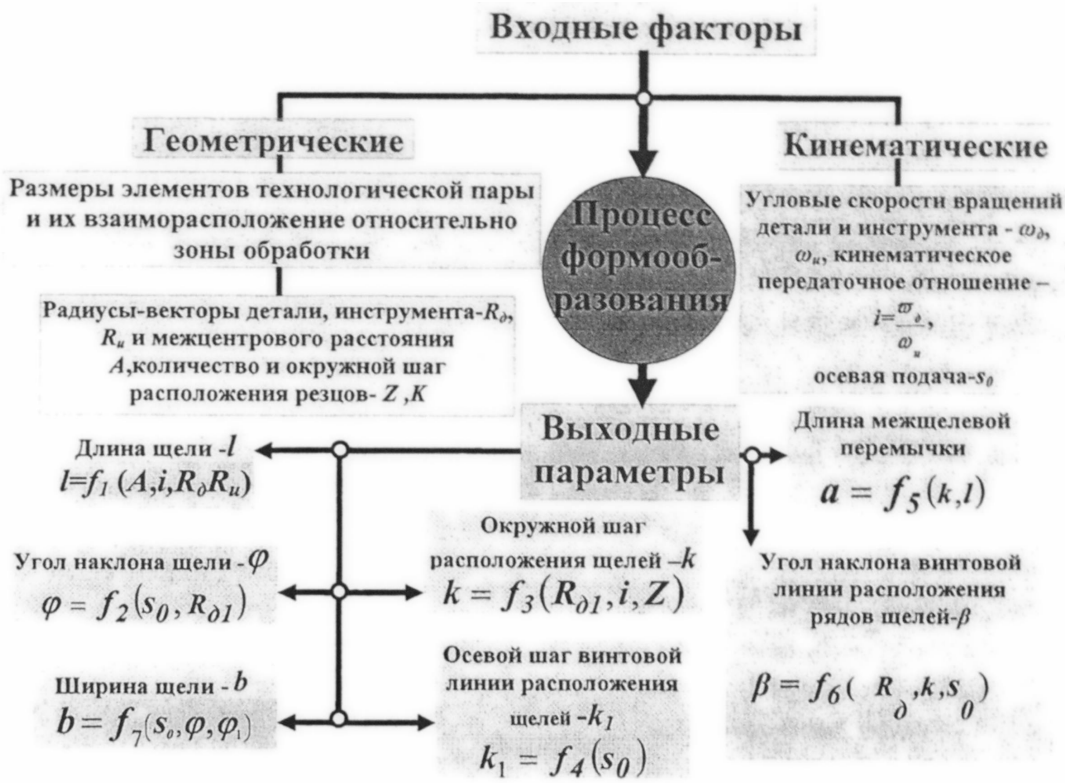


Рис.5. Блок-схема процесса формирования параметров щелевой структуры

щелевой структуры с геометрическими, кинематическими и технологическими параметрами ЦСФ приведены на рис. 5 и определяются по формулам:

Окружной шаг расположения щелей по окружности детали k: $k=\frac{2\pi R_д i}{Z}$. (1)

Количество рядов щелей по окружности детали N: $N=E[\frac{2\pi R_д}{k}]$. (2)

Осевой шаг винтовой линии расположения щелей k_1: $k_1=\frac{s_0 k}{2\pi R_д}=\frac{s_0 i}{Z}$. (3)

Угол подъема винтовой линии расположения щелей φ: $\varphi=arctg\left(\frac{s_0}{2\pi \cdot R_и}\right)$. (4)

Угол наклона β винтовой линии расположения рядов щелей к оси детали:

$$\beta = arctg\left(\frac{k(N+1) - 2\pi R_д}{s_0}\right), \quad (5)$$

Длина щели l определяется длиной дуги окружности профиля детали, измеренной между входящей и выходящей ветвями циклоидальной формообразующей траектории, и функционально раскрывается после построения модели циклоидального формообразования.

Длина межщелевой перемычки a: $a=k-l$, (6)

где $R_д$ – радиус поверхности детали, по которой измеряется длина щели, $i=\frac{n_д}{n_и}$- кинематическое передаточное отношение частот вращения детали ($n_д$) и инструмента ($n_и$), Z – число резцов на инструменте, s_0- продольная подача

инструмента, мм/об.

Для описания законов циклоидального формообразования щелей, универсально применимых к различным схемам обработки, компоновка шпиндельной группы относительно зоны резания формализована в виде системы векторов (рис.6). Система коллинеарных геометрических векторов характеризует схему касания детали и инструмента. При получении деталей с дискретно-щелевой структурой система векторов в исходном положении не является замкнутой и удовлетворяет соотношениям:

$\overline{A} + \overline{R_u} < \overline{R_\partial}$-для внешней и охватывающей

$\overline{A} + \overline{R_u} > \overline{R_\partial}$ - для внутренней схемы.

Для анализа компоновки шпиндельной группы относительно зоны обработки удобнее рассматривать ее через геометрическое передаточное отношение $i_1 = R_u / R_\partial$. На оси i_1 можно выделить зоны **I, II, III,** где компоновка соответствует различным схемам касания. Зона **I** ($-\infty < i_1 < 0$) соответствует внешней, зона **II** $0 < i_1 < 1$) - внутренней, зона **III** ($1 < i_1 < +\infty$)– охватывающей схеме касания детали и инструмента.

Дополняя геометрические векторы схемы касания кинематическими координатами вращательных движений можно получить обобщенную векторную модель схемы обработки (рис. 7).

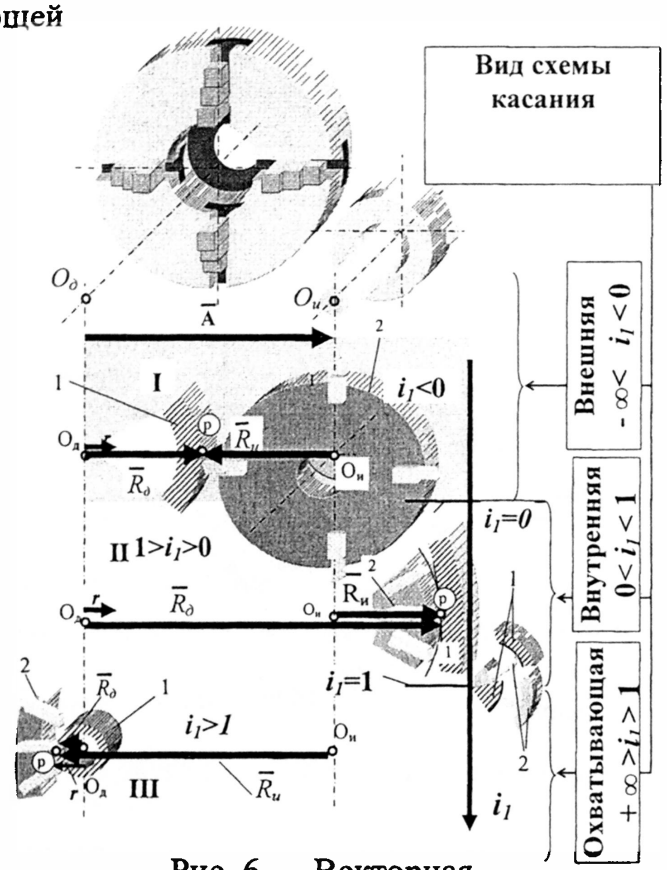


Рис. 6. Векторная формализация схемы касания пары деталь- инструмент

Основные векторные соотношения:

Геометрические:

$$\overline{R_\partial} = R_\partial \cdot \overline{r}\ , \quad \overline{R_u} = R_u \cdot \overline{r}\ ,$$

$$\overline{A} = A \cdot \overline{r}\ , \quad i_1 = \frac{R_u}{A + R_u} \qquad (7)$$

Кинематические:

$$\overline{\omega_\partial} = \omega_\partial \cdot \overline{e}\ , \ \overline{\omega_u} = \omega_u \cdot \overline{e}\ ,$$

$$i = \frac{\omega_\partial}{\omega_u}\ , \quad I = \frac{V_u}{V_\partial} = \frac{i_1}{i}\ , \qquad (8)$$

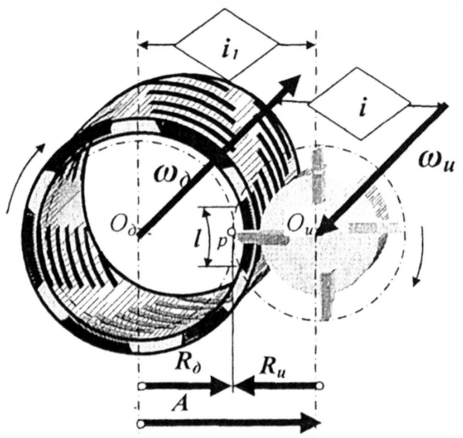


Рис. 7. Векторная формализация геометрии и кинематики схемы обработки

где $\bar{r}$ - единичный вектор геометрической координатной оси, $R_д$ – координата инструмента, A- координата центра инструмента i_1- геометрическое передаточное отношение, e- единичный вектор кинематической координаты, $\omega_д$ - кинематическая координата детали, $\omega_и$- кинематическая координата инструмента, i - кинематическое передаточное отношение угловых скоростей, I - кинематическое передаточное отношение окружных скоростей.

Передаточные отношения i_1, i, I полностью определяют схему обработки. Зона $I<0$ соответствует встречному резанию, зона $I>0$ - попутному резанию, зона $0 < |I| << 1$ соответствует условиям точения, зона $1 << |I| < \infty$ - фрезерования.

Для описания траектории S формообразования, использован принцип относительности движений, согласно которому деталь и связанную с ней систему координат фиксируют от вращения, а инструменту 2 сообщают обращенное вращательное движение вокруг детали 1 с угловой скоростью, равной по величине и противоположной по направлению угловой скорости реального вращения детали (рис. 8).

Исходная модель определяет траекторию S, как годограф радиуса-вектора формообразования ρ. В векторном виде модель записывается как сумма векторов $\bar{A}$ и $\bar{R}_и$:

$$\bar{\rho} = \bar{A} + \bar{R}_и \qquad (9)$$

В параметрическом виде модель представляет систему из четырех уравнений, содержащих восемь переменных:

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{A^2 + R_и^2 + 2AR_и\cos\theta} \\ \rho\sin\nu = R_и\sin\theta \\ \varphi = \tau + \nu \\ \tau = -i\,\theta \end{cases} \qquad (10)$$

$$\begin{cases} A = \rho\cdot\cos\nu - R_и\cos\theta \\ \rho\sin\nu = R_и\sin\theta \\ \varphi = \tau + \nu \\ \tau = -i\,\theta \end{cases} \qquad (11)$$

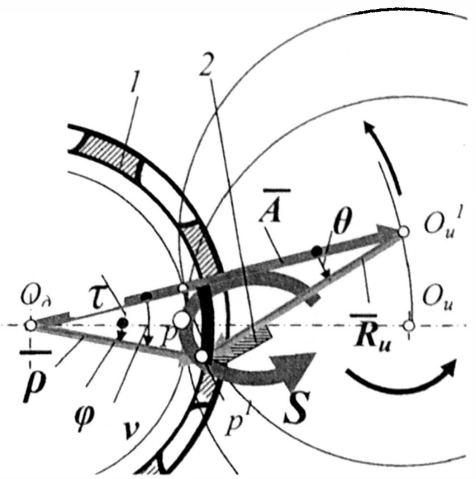


Рис.8. Обобщенная схема формирования траектории S

Первые два уравнения модели определяют форму векторного треугольника со сторонами A $R_и$ ρ, третье - угловую координату φ радиуса-вектора формообразования ρ в координатах, связанных с деталью, четвертое–координирует текущее угловое положение τ треугольника в обращенном движении, θ - текущий угол отклонения радиуса - вектора инструмента $R_и$ от линии центров, ν - угловое отклонение радиуса- вектора формообразования ρ от линии центров в подвижной системе координат.

Обе записи модели формообразования использованы при различных вариантах их решения в задачах анализа и параметрического синтеза.

Модели (10, 11) однозначно определяют взаимосвязь выходных параметров ρ, φ траектории формообразования S с входными параметрами схемы технологического зацепления. A, $R_и$, i_1 и кинематическими параметрами процесса i, θ, τ, ν. Модели содержат восемь переменных, функционально

связанных четырьмя уравнениями. Решение модели заключается в определении четырех переменных при заданных четырех.

В задачах анализа при определении длины щели для заданных A, $R_ш$, i и ρ, приравненном к радиусу поверхности детали $\rho = R_д$ определяется сначала центральный угол φ точки пересечения траектории S с окружностью профиля детали радиусом $R_д$. Далее определяется длина щели по зависимости:

$$l = 2R_д\varphi \quad , \qquad (12)$$

где l и $R_д$ выражены в мм, φ- в радианах.

Для решения модели относительно межцентрового расстояния A в задачах параметрического синтеза в исходных данных задаются l, $R_ш$, i и ρ.

Применительно к циклоидальным процессам формообразования модели (10, 11) являются универсальными применительно к различным схемам касания инструмена и детали, тангенциальному точению и фрезерованию, реализуемым как в условиях встречного, так и попутного резания (ВТ, ПТ, ВФ, ПФ).

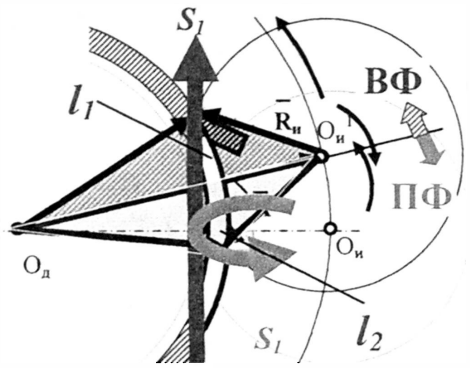


Рис. 9. Траектории S_1 S_2 формообразования щели при встречном (ВФ) и попутном (ПФ) фрезеровании

Существенное различие траекторий S_1, S_2, следовательно, и длины l_1 и l_2 щелей, формируемых при одинаковом соотношении частот вращения в условиях встречного и попутного резания, проиллюстрировано на рис. 9.

После преобразований модель (11) приводится к системе уравнений:

$$\begin{cases} A = R_{д1} \cdot \cos\left(\dfrac{l}{2R_{д1}} + i\theta\right) - R_и \cos\theta \\ R_{д1} \sin\left(\dfrac{l}{2R_{д1}} + i\theta\right) = R_и \sin\theta \end{cases} \qquad (13)$$

Из второго уравнения модели (13) получаем:

$$\theta = \arcsin\left(\frac{R_{д1} \sin\left(\dfrac{l}{2R_{д1}} + i\theta\right)}{R_и}\right) \qquad (14)$$

Выражение (14) представляет собой трансцендентное уравнение с неявно выраженной переменной, где параметр θ не может быть представлен в явном виде. Следовательно, модель (13) не имеет точного решения и требует разработки специальных методов и алгоритмов.

В четвертой главе разработаны методы решения математической модели формообразования щели относительно длины щели l, межцентрового расстояния A и кинематического передаточного отношения i.

Первый из них базируется на приведении трансцендентных выражений к алгебраическому виду и позволяет с погрешностью до 3% в задачах анализа и параметрического синтеза определять параметры технологической системы (15, 16, 17).

$$l = 2R_д\left|(i_1 - i)\sqrt{\frac{1 - \dfrac{R_д}{A + R_и}}{\dfrac{1}{2}(1 - i_1)i_1}}\right| \qquad (15)$$

При использовании метода для получения длинных щелей погрешность

вычислений увеличивается и может существенно превысить 10-ти процентный уровень.

$$A = \frac{R_\partial}{1 - \frac{1}{2}(1 - i_1)i_1\left(\frac{l}{2R_\partial(i_1 - i)}\right)^2} - R_u \qquad (16)$$

Второй метод является итерационным и основан на использовании рекуррентных соотношений. Их суть заключается в том, что искомой переменной θ в правой части выражения (14) присваивается индекс текущей –j, а в левой последующей итерации –(j+1).

$$i = i_1 \pm \frac{l}{2R_{\partial 1}}\sqrt{\frac{\frac{1}{2}(1 - i_1)i_1}{1 - \frac{R_\partial}{A + R_u}}} \qquad (17)$$

$$\theta_{j+1} = arcsin\left(\frac{R_{\partial 1}}{R_u} sin\left(\frac{l}{2R_{\partial 1}} + i\theta_j\right)\right) \qquad (18)$$

Итерационные алгоритмы решения модели в задачах анализа и параметрического синтеза приведены на блок-схеме (рис. 10).

Структурно аналогичный алгоритм разработан для расчета длины щели.

Алгоритмы реализованы в программах расчёта длины щели и межцентрового расстояния, выполненных на основе программных пакетов ***Sage*** и ***C++***, защищенных свидетельствами о государственной регистрации регистрации программ для ЭВМ №№ 2012617549, 2012617550, 2013617762.

На каждом цикле проводится сравнение относительной разницы Δ вычислений параметра θ на текукщн θ_j и последующей

θ_{j+1} итерациях $\Delta = \frac{\theta_{j+1} - \theta_j}{\theta_{j+1}}$

с допустимой погрешностью вычислений [Δ]. Вычисления проводятся до выполнения условия $\Delta \leq [\Delta]$. При определении межцентрового расстояния с допустимой погрешностью вычислений [Δ]=0,005, вариации требуемой длины щели l=2...20 мм и кинематического передаточного отношения i = -4...4 число итераций растет от 1 до 18 в прямой зависимости от абсолютной величины i и в обратной от величины l.

Последовательность процедур

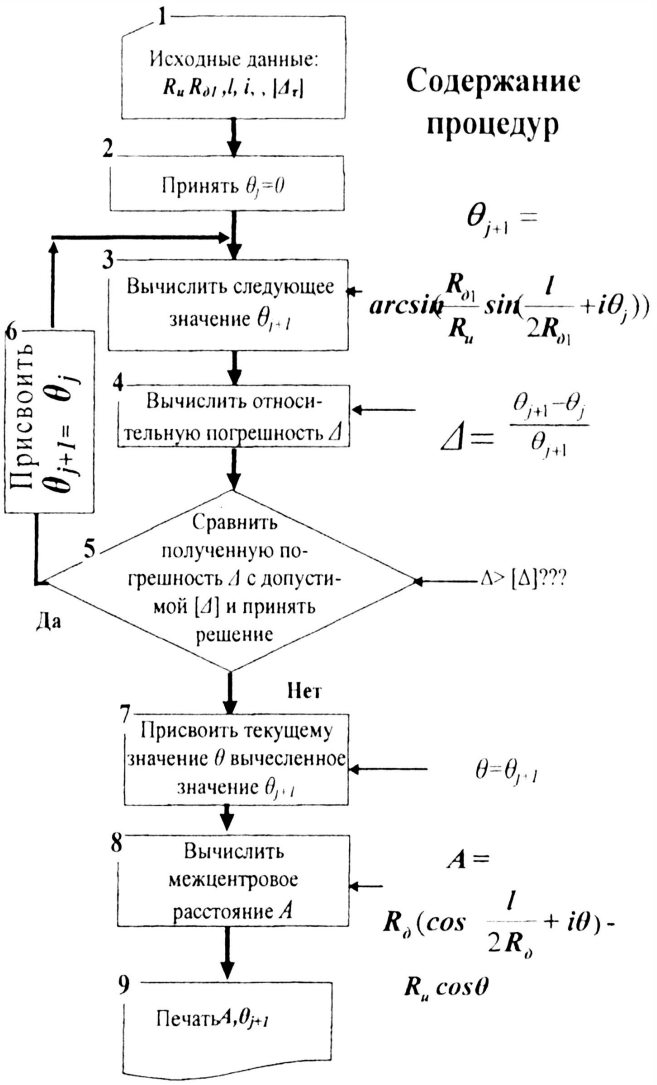


Рис.10. Блок-схема итерационного алгоритма расчета межцентрового расстояния

В табл.1 приведены расчетные значения параметров технологической системы для исходных данных $R_{\partial 1}$= 22 мм; R_u=-95 мм.

Результаты расчета подтверждают одно из основных положений работы о существенном влиянии взаимонаправленности движений на параметры технологической системы.

Таблица 1.

Расчетные значения параметров технологической системы

	ВР	ПР
l, мм (при A=116,5 мм, i= ±1)	10,424	6,498
A, мм (для l =10 мм, i= ±1)	116,541	115,839
i (A=116 мм, l =10 мм)	0,737	-7,429

Третий автоматизированный метод решения модели циклоидального формообразования щели на базе программного математического пакета ***Math CAD* 14** позволяет работать с массивами исходных данных и обеспечивает представление результата в табличном и графическом видах, существенно сокращая трудоемкость процесса решения модели.

<u>В пятой главе</u> с использованием разработанных алгоритмов и программ в табличном и графическом виде представлены результаты численного эксперимента по решению модели циклоидального формообразования щели в задачах анализа и параметрического синтеза, суть которого состоит в получении параметров технологической системы в числовом и графическом видах с использованием исходных данных $R_{\partial 1,}$=22 мм, R_u=-95 мм (внешняя схема касания), массивов A=111...117 мм, i= -4...4 при встречном (ВР) и попутном (ПР) резании (рис.11).

На рис.12 приведены результаты численного эксперимента в программной среде ***Math CAD* 14** по решению задачи параметрического синтеза относительно межцентрового расстояния A, необходимого для обеспечения длины щели l=10мм в диапазоне кинематического передаточного отношения от -0,2 до 0,2, соответствующего режимам попутного и встречного фрезерования.

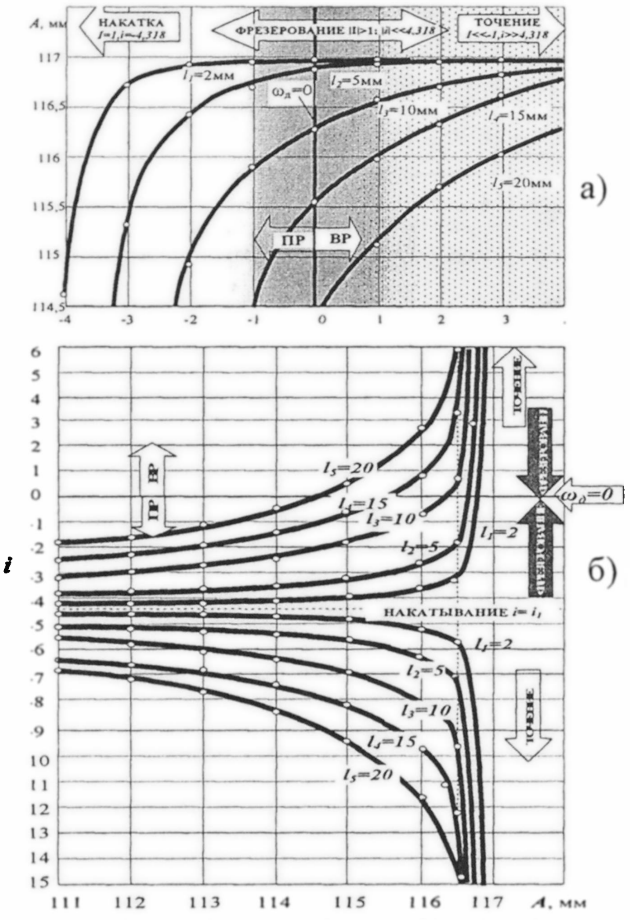


Рис. 11. Зависимости межцентрового расстояния A (а)и кинематического передаточного отношения i(б)

Физический эксперимент по получению щелевых структур, выполнен на токарно-фрезерном станке. В эксперименте реализованы методы фрезерования ($|V_\partial / V_u| < 1$) и тангенциального точения ($|V_\partial / V_u| > 1$) в режимах встречного ($V_\partial / V_u < 0$) и попутного ($V_\partial / V_u > 0$) резания. Глубина внедрения вершины резца в заготовку, являющаяся настроечным параметром и определяющая межцентровое расстояние A, составила t = 1...2,5 мм для глухих, t = 5,5 мм для сквозных щелей. Продольная подача на один оборот заготовки варьировалась в диапазоне S_0 = 1,4...3 мм/об. Измерения параметров структуры проведены с использованием универсального микроскопа УИМ-21.

В таблице 2 выборочно приведены результаты физического и численного экспериментов с сопоставлением их по относительной разнице.

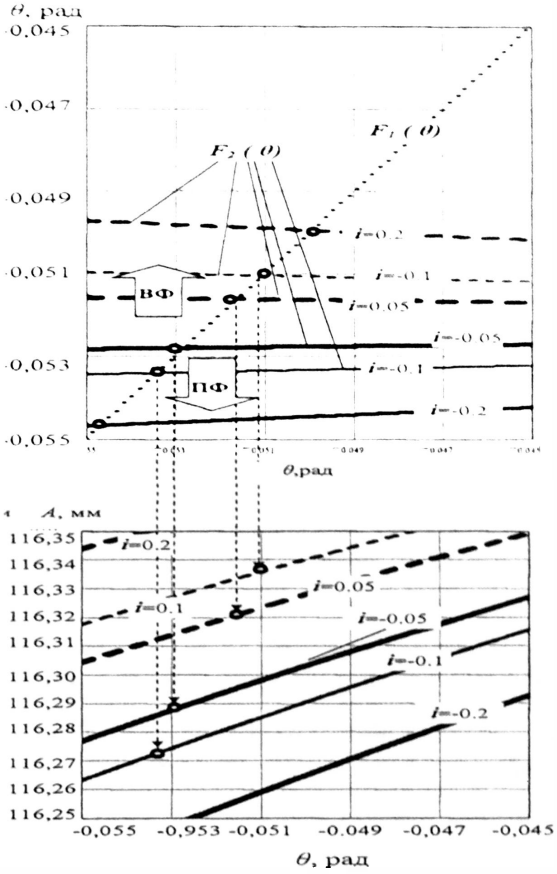
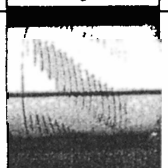


Рис.12. Номограмма определения межцентрового расстояния A при фрезеровании с различными значениями i для l=10мм

Таблица 2.

Сопоставление результатов численного и физического экспериментов для внешней схемы касания: $R_д$ =25 мм; $R_и$ = 95 мм; Z=1

№ п/п	Метод обработки	Входные параметры				Щелевая структура	Проницаемость	Значения параметров структуры						Относительная разница значений
								Эксперим-ные			Расчетные			
		A, мм	$n_д$, мин$^{-1}$	$n_и$, мин$^{-1}$	i			l,	a,	k,	l_p	a_p	k_p	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1.	Попутное фрезерование	118	50	240	-0,208		Глухая	17, 712	13,837	31, 549	17, 767	11,264	32.656	0,003
2	Встречное фрезерование	118	50	270	0,185		Глухая	19,654	9,429	29,052	19,547	10,076	29,623	0,005

Среднее расхождение экспериментальных и расчетных данных по результатам десяти наблюдений составляет $\delta = \frac{\Sigma \delta_i}{10} = 0{,}026$, т.е. менее 3%, что является вполне приемлемым для машиностроительных расчетов, свидетельствует об адекватности полученных моделей циклоидального формообразования дискретно-щелевых структур и позволяет рекомендовать их к практическому использованию в технологических задачах.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявлена взаимосвязь параметров изделий с дискретно-щелевой структурой и технологической системы с циклоидальной схемой формообразования (ЦСФ). Предложены зависимости для определения параметров изделий, в том числе: длина щели и перемычки, углы наклона винтовых линий щелей и рядов их расположения, окружной и осевой шаг щелей.

2. Разработаны компоновки станков с ЦСФ различного типоразмера для получения деталей с дискретно-щелевой структурой.

3. Разработана математическая модель циклоидального формообразования дискретно-щелевых структур, в том числе для определения размеров щели, межцентрового расстояния и кинематического передаточного отношения скоростей формообразующих движений. Предложенная модель универсально пригодна для технологических систем с внешней, внутренней и охватывающей схемами касания инструмента и заготовки, для попутного и встречного фрезерования и тангенциального точения.

4. Разработаны оригинальные методы и программы на базе пакетов ***Math CAD 14***, ***Sage***, ***C++*** для решения математической модели относительно длины щели, межцентрового расстояния и кинематического передаточного отношения угловых скоростей изделия и инструмента, защищенные свидетельствами государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012615410 и № 2012615411 от 29.06.2012г., № 2013617762 от 22.08.2013 г.

5. Результаты исследования показали, что взаимонаправленность формообразующих движений детали и инструмента существенно влияет на вид и форму траектории формообразования, определяет длину щели, величины межцентрового расстояния и передаточного отношения угловых скоростей инструмента и заготовки.

6. Установлено, что с ростом размеров щели необходимо уменьшение межцентрового расстояния; с ростом кинематического передаточного отношения необходимо увеличение межцентрового расстояния. При одинаковом по абсолютной величине кинематическом передаточном отношении для условий попутного резания межцентровое расстояние меньше, чем для встречного.

7. Сопоставление расчетных данных с результатами физического эксперимента показало их расхождение в пределах 2,6% , что свидетельствует об адекватности разработанных моделей и позволяет рекомендовать разработанный математический аппарат к практическому использованию.

8. Материалы диссертации использованы в работе, отмеченной дипломом Министерства образования и науки РФ по итогам Всероссийского конкурса студенческих работ 2006 г., и 2-х научно-исследовательских темах по программам Федерального агентства по образованию 2009 -2013 гг.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Иванов Д. В. Анализ конструкций изделий с дискретно-щелевой структурой и технологий их изготовления // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №5. Режим доступа: http://technomag. bmstu.ru/doc/182415.html.

2. Иванов Д. В. Компоновочно-кинематический анализ схем лезвийной обработки с циклоидальным формообразованием // Студенческий научный вестник. Сборник тезисов докладов общеуниверситетской конференции «Студенческая весна -2007» 2-30 апреля 2007 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана / Под ред. К.Е. Демихова. М.: НТА «АПФИ», 2007. (Сер. Профессионал). Т.4, Часть 1. 208 с. С. 216-217.

3. Иванов Д. В. Моделирование процесса формообразования дискретно-щелевых структур при бироторной лезвийной обработке// Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №7 Режим доступа: http://technomag. bmstu.ru/doc/182415.html.

4. Иванов Д. В. Параметрический синтез при получении щелевых структур на станках токарно-фрезерной группы // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая весна 2008: Машиностроительные технологии, посвященной 140-летию высшему технологическому образованию в МГТУ им. Н. Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2008. С.14-15.

5. Иванов В.С., Зубков Н.Н., Иванов Д.В. Анализ кинематики процесса циклоидального формообразования при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом // Технология машиностроения, 2007. №11. С.13-15.

6. Моделирование процесса формообразования при получении щелевых структур вращающимся /Д.В.Иванов [и др.]. // Технология машиностроения. 2007. №8. С.14-17.

7. Иванов В.С., Иванов Д.В. Анализ радиальных отклонений профиля детали от номинальной окружности при многолезвийной обработке на биротрных станках // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. Сер.«Машиностроение». № 3 . С. 110-123.

8. Иванов В.С., Иванов Д.В. Анализ компоновок биротрных станков для лезвийной обработки круглопрофильных деталей с дискретно-щелевой структурой поверхности // Технология машиностроения, 2012. № 7 С. 14-20.

9. Иванов В.С., Иванов Д.В. Векторный анализ методов лезвийной обработки деталей // Технология машиностроения, 2010.№ 4. С. 8-13.

10. Иванов В.С. , Зубков Н.Н., Иванов Д.В. Параметрический синтез технологической схемы при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом // Технология машиностроения. 2007. №12. С. 16-19.

11. Иванов В.С., Иванов Д.В. Исследование процесса формирования щели на трубчатом профиле при обработке вращающимся лезвийным инструментом по параметрам траектории формообразования // Технология машиностроения. 2009. № 2. С. 21-25.

12. Иванов В.С., Иванов Д.В. Композиционный анализ процесса формообразования круглопрофильных деталей при многолезвийной обработке на токарно-фрезерных станках // Технология машиностроения. 2011. № 10. С.16-21.

13. Иванов В.С., Иванов Д.В. Методика расчета параметров композиции траекторий формообразования на станках токарно- фрезерной группы // Технология машиностроения. 2011. №9 С.11-15.

14. Многокритериальная оптимизация режимов бироторной многолезвийной обработки круг-лопрофильных деталей /Иванов Д. В. [и др.] // Технология машиностроения. 2012. № 2. С.13-19.

15. Иванов В.С., Иванов Д.В. Параметрический синтез при циклоидальном формообразовании щелевого макрорельефа на станках токарно-фрезерной группы // Тез. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. «Машиностроительные технологии». М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2008. 282 с. С.21-22.

16. Иванов В.С., Иванов Д.В. Численное моделирование процесса формообразования при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2008. №2. С.120-127.

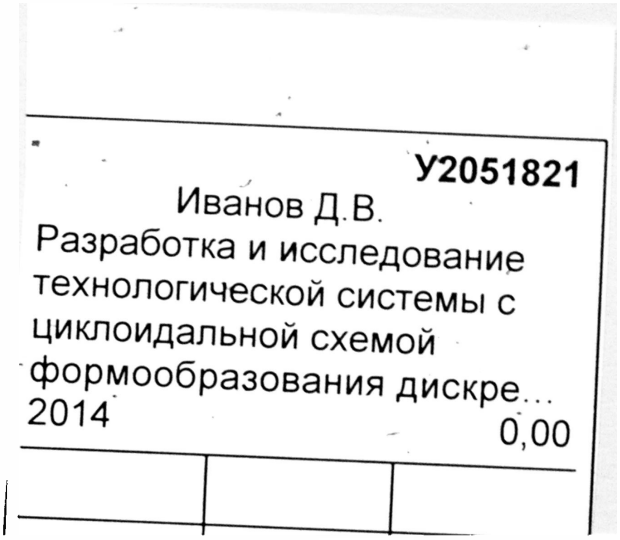
17. Иванов В.С., Утенков В. М., Иванов Д.В. Свойства симметрии при циклоидальном формообразовании деталей на бироторных металлорежущих станках// Технология машиностроения. 2010.№ 7. С.12-13.

Свидетельства гос. регистрации программ для ЭВМ

Иванов В.С., Иванов Д.В., Ширшов А. Г. Расчет длины щели, получаемой при бироторном резании, на базе итерационного алгоритма: свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2012617549 от 21.08.2012 г.

2. Иванов Д.В. Итерационный метод расчета длины щели, получаемой при бироторной обработке: свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2013617762 от 22.08.2013 г.

3. Иванов В.С., Иванов Д.В., Ширшов А. Г.: Расчет межцентрового расстояния при бироторном прорезании щели на базе итерационного алгоритма: свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2012617550 от 21.08.2012 г.



2051821

Возвратите книгу не позже обозначенного здесь срока
