

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

МАРИКОВ АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.914.1.001.2

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИИ ТОРЦОВОГО
ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПУТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ СТИКЛЮЧЕНИЯМИ ФОРМЫ И ВОЛНИСТОСТЬЮ
ПЛОСКОСТЕЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1993

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

МАРКОВ АНДРЕЙ МИХАИЛОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИИ ТОРЦОВОГО
ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ОТКЛОНЕНИЯМИ ФОРМЫ И ВОЛНОСТИЮ
ПЛОСКОСТЕЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Специальность 05.02.08 -Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1993

Работа выполнена на кафедре "Технология автоматизированных производств" Алтайского государственного технического университета имени И.И.Ползунова

Научный руководитель	- кандидат технических наук, доцент Татаркин Е.Д.
Официальные оппоненты	- доктор технических наук, профессор Пономарев В.П. - кандидат технических наук, доцент Батуев В.А.
Ведущее предприятие	- АО АНИТИМ (г. Барнаул)

Защита состоится 22 декабря 1993 года в 15 час. 00 мин.
на заседании специализированного совета Д 053.13.05 при Челябинском государственном техническом университете по адресу:
454080, г. Челябинск, пр.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского государственного технического университета

Автореферат разослан 19 ноября 1993 года

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор экономических наук,
профессор

И.А.Баев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Современный уровень машиностроения определяется тем, что 75% ее продукции выпускается в условиях мелкосерийного и серийного производства, для которого характерно широкое использование многооперационных и фрезерных станков с ЧПУ. При этом до 25...40% времени работы станка затрачивается на обработку плоскостей корпусных деталей, номенклатура которых такова, что большую ее часть составляют заготовки сложной конфигурации. При их обработке постоянно изменяется ширина зоны резания. Это приводит к образованию погрешностей в виде отклонений формы, расположения и волнистости обработанных поверхностей. Акцентирование технологов ряда машиностроительных предприятий показало, что наиболее распространеными из применяемых способов обеспечения заданных показателей точности являются занижение режимов резания (34%) и применение оснастки повышенной жесткости (26%). Однако такие мероприятия снижают эффективность применения станков с ЧПУ, так как связаны с потерей производительности и с возрастанием затрат на изготовление деталей.

Проектирование эффективных способов управления показателями точности (СУПТ) в настоящее время осложняется тем, что для выбора их физического принципа действия и структуры чаще всего применяется малоэффективный метод "проб и ошибок", использующий интуицию и прошлый опыт технолога. Вызывает затруднения и оценка найденных СУПТ, так как существующие математические модели основаны на эмпирических и полуаналитических силовых зависимостях, адекватно отображающих реальный процесс лишь для условий, в которых они получены. В связи с этим исследования, направленные на разработку научно обоснованной методики поиска технических решений, способствующих повышению производительности и снижению стоимости обработки плоских поверхностей корпусных деталей на станках с ЧПУ, являются актуальными.

Цель работы. Повышение производительности операций торцовового фрезерования на станках с ЧПУ путем разработки способов управления отклонениями формы и волнистостью плоских поверхностей корпусных деталей на основе моделирования процесса формообразования.

Основные задачи. I. Провести функционально-физический анализ технологической системы (ТС), выявить потоковые и функциональные связи, действующие между элементами ТС в процессе формообразования поверхностей.

2. Разработать методику автоматизированного синтеза способов управления показателями точности при фрезеровании, обеспечивающую получение конкурентоспособных технических решений.

3. Построить имитационную модель процесса формообразования для оценки способов управления торцовым фрезерованием.

4. Разработать аналитические зависимости для расчета силы резания при торцовом фрезеровании, учитывающие изменение фактической глубины резания, влияние конструктивно-геометрических параметров и закона относительного движения фрезы и заготовки.

5. Разработать способы управления точностью формы и волнистостью плоских поверхностей, провести их промышленные испытания и внедрить в производство.

Методы исследований. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории резания металлов, принципов системного анализа и методологии поискового конструирования. Достоверность результатов расчетов проверялась экспериментально в лабораторных и производственных условиях по разработанной в диссертации методике. Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики.

Научная новизна. I. Обоснована возможность и разработаны методические основы поиска перспективных и конкурентоспособных способов управления показателями точности плоскостей корпусных деталей при торцовом фрезеровании на станках с ЧПУ.

2. Получена зависимость, использование которой при разработке управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ, позволяет управлять точностью формы заготовок сложной конфигурации за счет изменения соотношения между продольной и поперечной подачами.

3. Разработана имитационная модель формообразования и методика численного определения показателей точности детали.

4. Разработаны аналитические зависимости для расчета составляющих силы резания, учитывающие изменение фактической глубины резания, влияние конструктивно-геометрических параметров и закона относительного движения инструмента и заготовки.

Практическая ценность. 1.Специализированный фонд эвристических приемов для совершенствования операций торцового фрезерования, обеспечивающий поиск перспективных решений.

2.Методическое, информационное и программное обеспечение для синтеза способов управления показателями точности, реализованное в виде автоматизированной обучающей системы.

3.Конкретные технические решения (Способ обработки деталей торцовой фрезой – положительное решение по заявке на изобретение N 5015729/08; резец (кассета модульной торцовой фрезы) – АС СССР N 1780931; способ обработки деталей переменной ширины – полож. решение по заявке на изобретение N 5038139/08), позволяющие в I.3...I.6 раза снизить отклонения формы и волнистость плоских поверхностей корпусных деталей и на 40% повысить производительность торцового фрезерования на станках с ЧПУ.

4.Автоматизированный стенд сбора и обработки экспериментальных данных, использующий оригинальный способ контроля показателей точности плоских поверхностей (АС СССР N 1768947).

Реализация работы. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в данной работе, нашли практическое применение. "Способ обработки деталей торцовой фрезой" (положительное решение по заявке на изобретение N 5015729/08) позволил на заводе топливной аппаратуры ПО "Барнаултрансмаш" в I.4 раза повысить производительность операции фрезерования плоскостей корпуса насоса. Совместное использование "Способа обработки деталей торцовой фрезой" и "Способа обработки деталей переменной ширины" (полож. решение по заявке на изобретение N 5038139/08) дало возможность сократить на 10% время выполнения операции фрезерования базовой плоскости корпуса прибора на ПО "Луч" (г.Барнаул) и снизить отклонения от плоскостности и волнистость в I.3...I.6 раза. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения результатов данной работы составил 100140 руб. в ценах 1991 года.

На ПО АМЗ (г.Барнаул) для решения задач технологической подготовки производства внедрен комплекс программ для имитационного моделирования процесса формообразования и автоматизированный стенд сбора и обработки экспериментальных данных, в составе которого используется оригинальная методика профилограф-

фирования поверхностей (АС СССР № 1768947).

Авторизация работы. Основные положения диссертации докладывались на II зональной научно-технической конференции "Пути повышения качества и надежности инструмента" (Рубцовск, 1987), научно-практической конференции "Повышение эффективности использования в производстве станков с ЧПУ" (Барнаул, 1987), школе-семинаре "Комплексная технологическая подготовка производства средствами САПР" (Одесса, 1988), на республиканской научно-практической конференции "Повышение эффективности технологических процессов машиностроительных производств" (Барнаул, 1989), республиканской научно-технической конференции "Выбор конструкций и режимов резания при эксплуатации прогрессивного твердосплавного инструмента" (Екатеринбург, 1990), научно-технической конференции "Современные методы повышения эффективности машиностроения" (Рубцовск, 1991), на семинарах кафедры "Технология автоматизированных производств" АлтГТУ имени И.И.Ползунова в 1989-1993 годах.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 печатных работ, получено 2 авторских свидетельства и 2 положительных решения по заявкам на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы, и приложений. Работа изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка, 6 таблиц, список литературы из 105 наименований, 13 приложений. Общий объем работы 223 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Для современного машиностроения характерно широкое применение многооперационных и фрезерных станков с ЧПУ. Однако при обработке плоскостей корпусных деталей это оборудование используется неэффективно: в 60% случаев обработка проводится на заниженных режимах либо с использованием оснастки повышенной жесткости. В первую очередь это связано с тем, что большая часть заготовок имеет сложную конфигурацию, при их фрезеровании постоянно изменяются размеры зоны резания, что приводит к отклонениям формы, расположения и волнистости поверхностей.

Теоретические основы поиска эффективных путей управления точностью заложены научными школами Мосстанкина, МГТУ, С-ПГТУ,

ЧГТУ. Литературный обзор работ, посвященных данной проблеме, показал, что для операций торцового фрезерования на станках с ЧПУ доминирующими являются погрешности, вызванные энергетическими потоками, возникающими (поступающими) в ТС при формообразовании: колебания, упругие отжатия, тепловые деформации. За время обработки изменяется не только величина, но и направление погрешностей. В связи с этим выдвинута гипотеза о том, что при разработке СУПТ нет необходимости уменьшать каждую из составляющих погрешностей, достаточно чтобы их сумма была минимальна. Для поиска таких способов управления необходимо раскрыть внутренние свойства ТС (потоковые и функциональные связи элементов), то есть провести функционально-физический анализ ТС.

Согласно принципов поискового конструирования выбор СУПТ проводится в несколько этапов. При этом не смотря на отделяющие успехи по внедрению вычислительной техники для решения задач оптимизированного выбора параметров способов, поиск их физических принципов действия и структуры осуществляется малоэффективным методом "проб и ошибок", основанием на интуиции и прошлом опыте технолога. Вызывает сотруднение и окончательная проверка найденных решений, так как большинство разработанных имитационных моделей формообразования имеет частный характер: в их составе используются эмпирические и полуаналитические зависимости, адекватно отражающие реальный процесс лишь для условий, в которых они получены. Применение аналитических зависимостей усложнено тем, что не все управляющие параметры входят в них в явном виде.

Таким образом, для повышения производительности и точности операций торцового фрезерования на станках с ЧПУ необходимо разработать научно обоснованную методику поиска эффективных СУПТ, включающую выбор физического принципа действия, структуры, расчет параметров и их оценку методами имитационного и физического моделирований. Решение этих задач посвящены следующие разделы.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТОЧНОСТИ

Поиск СУПТ, основанных на использовании внутренних связей ТС начинается с проведения ее функционально-физического анализа. Результаты отбираются в конструктивно-функциональной и потоко-

вой функциональной структурах. Структуры представляют собой ориентированные графы, вершины которых - элементы ТС, а ребра - функции элементов или наименования потоков, проходящих через них (рис. I). Воздействуя на элементы ТС, потоки изменяют их состояние, но при этом изменяются и характеристики самих потоков, например, происходит рассеяние энергии колебаний в станции станка. Следовательно, для управления процессом формообразования нет необходимости вводить в ТС дополнительные элементы, так как функции управления могут быть реализованы самой ТС.

Элементом, реализующим основную функцию ТС, является фреза; ее составные части выполняют наибольшее число функций, она взаимодействует со всеми элементами ТС. При этом затраты на фрезу составляют всего доли процента от общей стоимости станка с ЧПУ. В то же время более 45% отказов фрезерного станка вызвано инструментом. Поэтому в качестве управляющего элемента структуры ТС при построении СЛиГ выбран металлорежущий инструмент.

Для гарантированного получения перспективных и конкурентноспособных СЛиГ были проанализированы законы строения и развития данного класса технических объектов. В ходе ретроспективного анализа рассмотрено более 1000 описаний авторских свидетельств и патентов шести стран, выданных за последние 50 лет. При этом выявлялись приемы и способы, которые применялись (или могли применяться) при переходе от прототипа к изобретению, что позволило сформировать специализированный фонд эвристических приемов (93 приема, разделенных на девять групп), который был использован для поиска и совершенствования способов торцовового фрезерования.

Методика проектирования СЛиГ, реализованная в виде автоматизированной обучющей системы "Творчество", разработана на основе принципов поискового конструирования и результатов функционально-физического анализа ТС. Используется следующая схема поиска: определение технологической цели и функций СЛиГ; формулирование идеального решения; выбор прототипа и его анализ; применение специальных процедур и устранение недостатков с использованием разработанного фонда эвристических приемов; расчет и оптимизация параметров структуры; оценка найденного способа методами моделирования. Результатами применения методики являются конкретные решения, направленные на обеспечение требуемых показателей точности при торцовом фрезеровании на станках с ЧПУ.

Потоковая функциональная структура технологической системы:

- ➡ поток информационных сигналов;
- основной поток физических операций;
- поток образования погрешностей

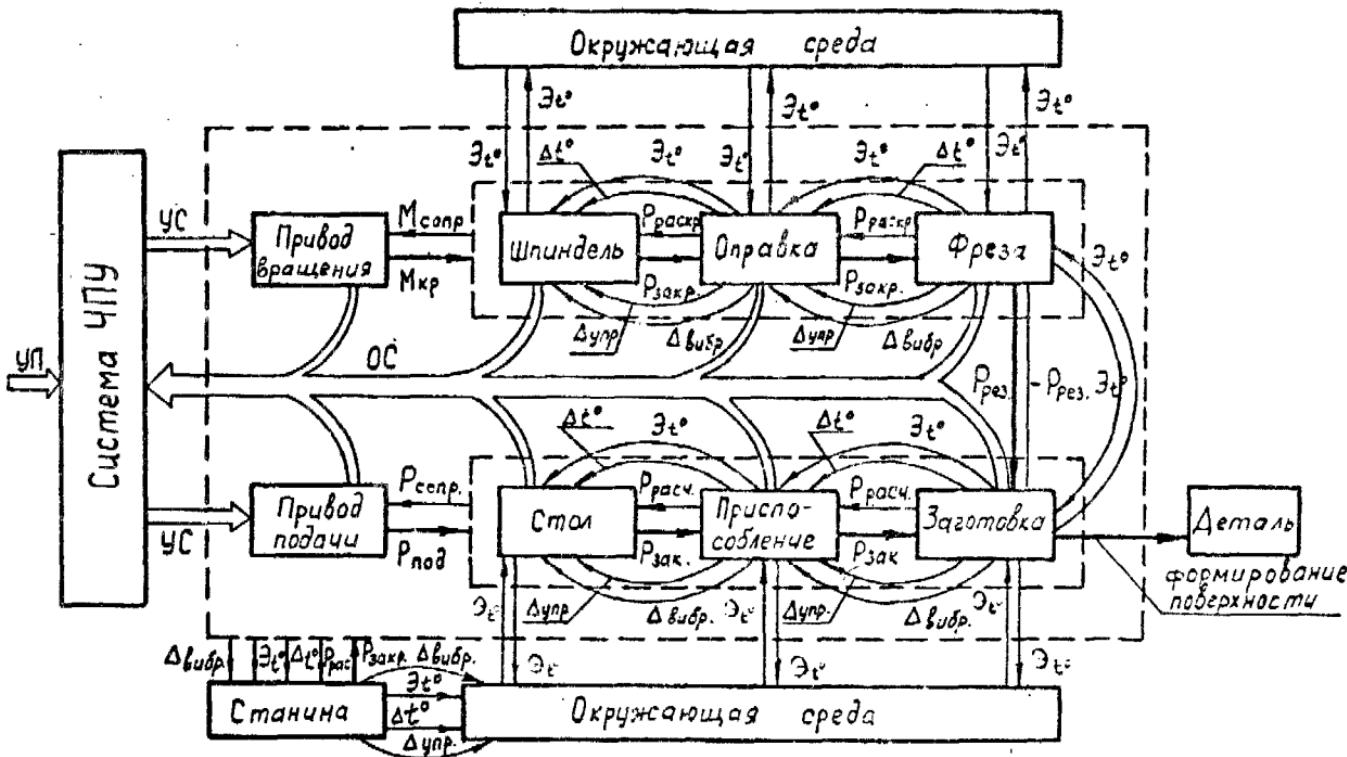


Рис. 1

Разработанный с использованием специализированного фонда эвристических приемов способ управления отклонениями формы деталей сложной конфигурации включает следующие действия: назначение постоянной для данных условий продольной подачи S_x ; изменение соотношения между продольной S_x и поперечной S_y подачами в зависимости текущей ширины заготовки таким образом, чтобы в контакте с заготовкой оставалось постоянное количество режущих зубьев (рис.2). Это обеспечит стабилизацию силы резания и величины упругих отжатий ТС. Последние компенсируются внесением коррекции в размер статической настройки. Для заготовки, имеющей трапециoidalный профиль, в работе получена следующая зависимость для определения соотношения S_x/S_y :

$$S_x/S_y = 0.5 \cdot B'(x) + R \cdot k_3 \cdot B'(x) / [R^2 \cdot (k_1 + k_2)^2 - (B(x))^2]^{0.5} \quad (1)$$

где $B(x)$ -функция, описывающая изменение текущего значения ширины заготовки; R - радиус фрезы; k_1, k_2, k_3 - аналитические коэффициенты, зависящие от соотношения ширины заготовки и диаметра фрезы.

Показатели точности формы могут обеспечиваться без решения траекторной задачи и применения системы ЧПУ. В найденном с использованием описанной выше методики техническом решении функция управления передана режущим зубьям (кассетам) торцовой фрезы. Это сделано путем замены жесткой связи зубьев с корпусом фрезы на упругую и использования шарнирного крепления подвижной части относительно неподвижной.

Анализ найденных способов фрезерования на соответствие патентно-правовым показателям, показал их патентную чистоту, что позволило заявить их в качестве изобретений (положит.решение по заявке на изобретение N 5038139/08 и АС СССР I780931).

Для обеспечения в заданных пределах показателей констистости, образующейся при фрезеровании заготовок сложной конфигурации, необходимо реализовать функцию "Управлять периодической возмущающей силой резания". В соответствии с выявленными прогнозами развития СУПТ это должно быть сделано за счет инструмента. Наиболее удобной формой представления информации о конструкциях торцовых фрез является структура в виде связного И-ИЛИ-графа, который обеспечивает автоматизированный синтез фрез при "новом" сочетании ИЛИ-вершин. При создании информационного массива были

Траектория движения центра фрезы при обработке заготовки переменной ширины
 (1,2,3,4,5 - режущие зубья, находящиеся в контакте с заготовкой
 $B(X_i)$ - текущая ширина заготовки)

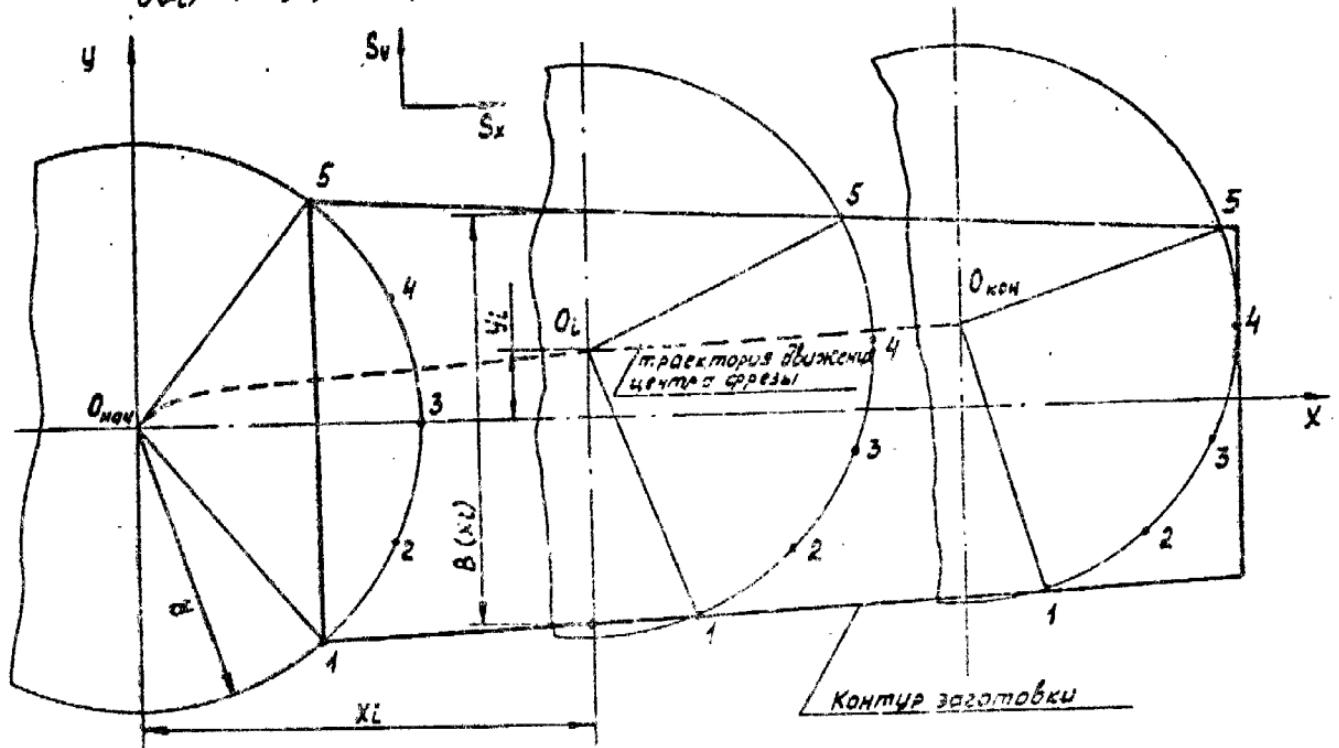


Рис. 2

анализированы конструкции фрез по патентным фондам шести стран за 50 лет. В структуре построенного общего И-ИЛИ-дерева девять иерархически связанных уровней описания конструкций фрез. Дерево включает 155 вершин и содержит более $4 \cdot 10^{12}$ решений, отличающихся друг от друга хотя бы одним элементом или признаком. Найденное при синтезе на И-ИЛИ-графе одно из решений обладает признаками патентной чистоты. Его особенность заключается в том, что каждый зуб фрезы имеет отличный от других зубьев главный угол в плане. Способ, в составе которого используется данный инструмент, заявлен в качестве изобретения (положительное решение по заявке на изобретение № 5015729/08).

Практическое использование полученных способов возможно после расчета параметров их структуры и проведения оценки методами имитационного моделирования.

3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТОЧНОСТИ

Для построения имитационной модели формообразования по каждому из иерархических уровней описания ТС, выявленных при функционально-физическом анализе, введены в рассмотрение соответствующие системы координат. Их пространственное положение может "изменяться" при обработке и "искажать" заданный закон относительного движения инструмента и заготовки. Это учитывается известным методом координатных систем с деформирующими связями.

Положение любой i -той точки, принадлежащей обработанной поверхности, определяется ее радиус-вектором \vec{r}_{di}

$$\vec{r}_{di}(\tau) = \vec{r}_{zi}(\tau) - \vec{t}_{\Phi i}(\tau), \quad (2)$$

где \vec{r}_{zi} - радиус-вектор точки, принадлежащей поверхности заготовки, $\vec{t}_{\Phi i}(\tau)$ - фактическая глубина резания, текущее значение которой рассчитывается из уравнения баланса перемещений ТС:

$$\vec{t}_{\Phi i}(\tau) = M_d \cdot M_p \cdot \vec{A}(\tau) + M_d^2 \cdot M_i' \cdot M_p \cdot \vec{r}_{ii}(\tau) - M_d \cdot \vec{r}_{zp}(\tau), \quad (3)$$

где $\vec{A}(\tau) = \vec{r}_{ic}(\tau) - \vec{r}_{pc}(\tau) - \vec{S}_p$; M_d, M_p, M_i' - матрицы поворотов систем координат соответственно детали, приспособления, фрезы; \vec{S}_p - радиус-вектор, учитывающий перемещение системы координат приспособ-

ления; $\vec{r}_{\text{ис}}(\tau), \vec{r}_{\text{зп}}(\tau)$ - радиус-векторы, учитывающие положение систем координат инструмента и приспособления относительно системы координат станка. Величину и направление слагаемых, входящих в уравнение (3) определяют упругие и температурные деформации, износ элементов ТС, относительное положение которых изменяется вследствие вибрации. Массив радиус-векторов обработанной поверхности, полученный с помощью уравнения (2), позволяет рассчитать значения показателей точности и оценить разработанные СУПТ.

В связи с тем, что составляющие уравнения баланса перемещений определяются через действующие значения сил резания, в диссертации были получены соответствующие аналитические зависимости. В основу расчета сил резания при торцовом фрезеровании на стакнах с ЧПУ положена разработанная С.Н.Корчаком методика, использующая законы теории пластичности и закон механики о равенстве активных и реактивных сил, что позволяет установить для каждого момента времени зависимости между режимами, физико-механическими свойствами материала заготовки, ее конфигурацией, конструктивно-геометрическими параметрами фрезы.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{Tt}^{\Sigma}(\tau) = \sum_{i=1}^{N_t} \left(U_T \frac{1.15 \cdot a_i(\tau) \cdot t_{\Phi_i}(\tau) \cdot \sigma_i \cdot \cos \beta}{\sin \beta_1 \cdot \sin \phi_i} + \frac{0.252 \cdot \mu \cdot t_{\Phi_i}(\tau) \cdot l_{3i}(\tau) \cdot \sigma_i}{\sin \phi_i} \right) \\ P_{Rt}^{\Sigma}(\tau) = \sum_{i=1}^{N_t} \left(U_R \frac{1.15 \cdot a_i(\tau) \cdot t_{\Phi_i}(\tau) \cdot \sigma_i \cdot \sin \beta}{\sin \beta_1} + 0.252 \cdot t_{\Phi_i}(\tau) \cdot l_{3i}(\tau) \cdot \sigma_i \right), \quad (4) \\ P_{At}^{\Sigma}(\tau) = \sum_{i=1}^{N_t} \left(U_a \frac{1.15 \cdot a_i(\tau) \cdot t_{\Phi_i}(\tau) \cdot \sigma_i \cdot \sin \beta}{\sin \beta_1 \cdot \tan \phi_i} + \frac{0.252 \cdot t_{\Phi_i}(\tau) \cdot l_{3i}(\tau) \cdot \sigma_i}{\tan \phi_i} \right) \\ a_i(\tau) = S_z \cdot \sin \phi_i \cdot \sin \Phi_i(\tau). \end{array} \right.$$

где $P_{Tt}^{\Sigma}, P_{Rt}^{\Sigma}, P_{At}^{\Sigma}$ - тангенциальная, радиальная и осевая составляющие суммарной силы резания, U_T, U_R, U_a - аналитические коэффициенты, учитывающие влияние конструктивно-геометрических параметров инструмента, $a_i(\tau)$ - толщина среза, σ_i - интенсивность напряжений в деформируемом объеме металла; β - угол действия; β_1 - угол сдвига, μ - коэффициент трения, l_3 - величина площадки износа.

Полученные аналитические зависимости (4) использованы в составе имитационной модели формообразования для оценки описанных в разделе 2 способов управления торцовым фрезерованием.

Проведенное моделирование способа управления отклонениями формы деталей сложной конфигурации путем изменения соотношения подач S_x/S_y согласно выражения (1) подтвердило его эффективность: по сравнению со способом фрезерования с постоянной продольной подачей, найденный СУПР обеспечивает в 3.5 раза меньшую величину отклонений от плоскости.

Структура способа управления волнистостью, разработанная с помощью процедур синтеза на И-ИМ-графе, включает режущий инструмент, зубья которого имеют отличающиеся друг от друга значения главных углов в плане. Целью выбора параметров способа является минимизация амплитуды превалирующей гармоники $A_{\text{пред}}$ в рассматриваемом спектре колебаний:

$$A_{\text{пред}} = \max_{k=1}^M (A(\omega_k) \cdot A_k) - \min \quad (5)$$

где $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика ТС; A_k – амплитуда k -той гармоники возмущающей силы.

Однако чаще всего частотные характеристики ТС станка, на котором будет проводится обработка, неизвестны. В этом случае АЧХ ТС представляется в виде прямой линии, а расчет геометрических параметров фрезы (углов в плане) заключается в максимальном приближении спектра возмущающей силы к ограниченному "белому шуму". В связи с тем, что при изменении углов в плане изменяется соотношение между составляющими силы равнения, в качестве целевой функции выбрана линейная свертка:

$$\sum_{t=1}^3 \sum_{k=1}^M (\alpha_t \sum_{k=1}^2 a_k^2)^{-0.5} \min. \quad (6)$$

где $(\sum_{k=1}^2 a_k^2)_t$ – мощность гармоник спектра возмущающей силы в направлениях ОХ, ОУ, ОZ; α_t – весовые коэффициенты: $\alpha_x = \alpha_y = 0.25$, $\alpha_z = 0.5$.

После определения неизвестных параметров проведена оценка разработанного способа, которая показала, что использование оптимальных параметров инструмента, то есть, рассчитанных по выражению (5) позволяет на порядок уменьшить амплитуду превалирующей гармоники в рассматриваемом спектре (рис.За, Зб), что обеспечивает соответствующие снижение параметров волнистости.

Моделирование способа управления, в котором использован инструмент с параметрами, рассчитанными по выражению (6), подт-

Спектры относительных перемещений инструмента и заготовки при обработке по разным способам фрезерования: а) фреза с $\varphi=\text{Const}$; б) фреза с оптимальными геометрическими параметрами; в) фреза с "универсальными" геометрическими параметрами; г) фреза с "универсальными" геометрическими параметрами (жесткость ТС изменена в 1.5 раза)

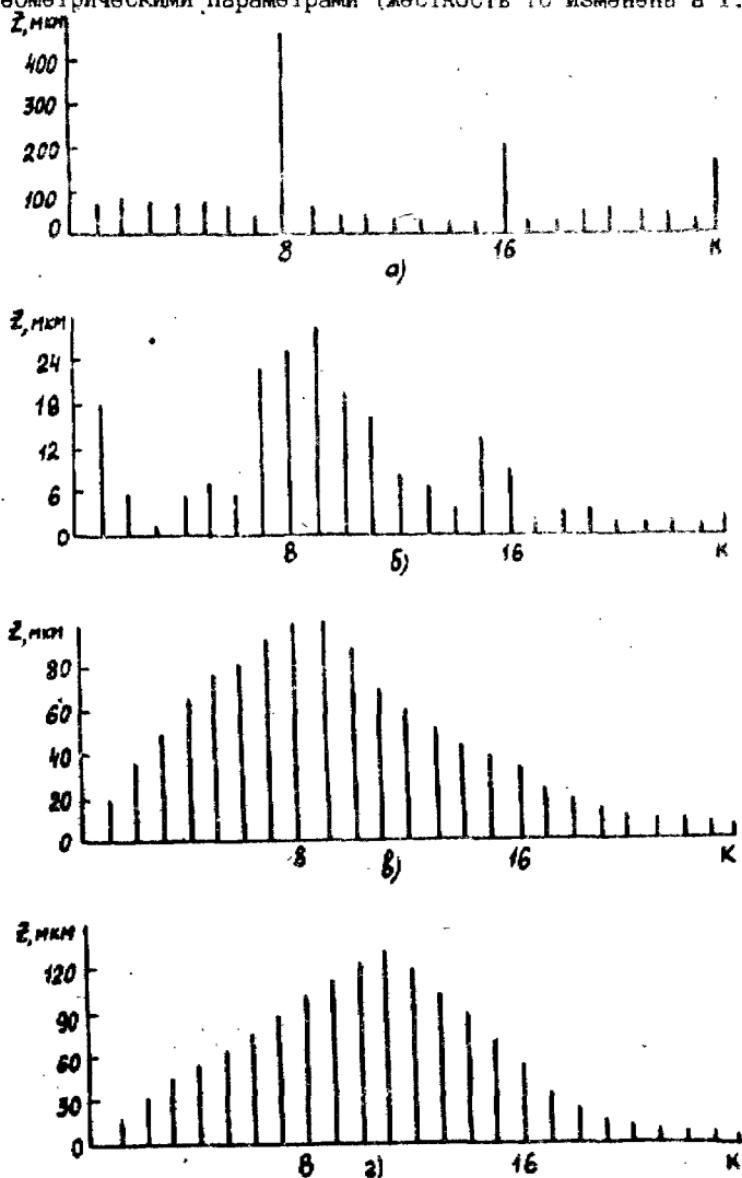


Рис.3

вердило (рис.3в,3г) их инвариантность к динамическим свойствам ТС: изменение коэффициента жесткости ТС в 1.5 раза не привела к заметному возрастанию волнистости поверхности.

Окончательная оценка разработанных способов управления торцовым фрезерованием получена в ходе экспериментальных исследований. Они проводились на автоматизированном стенде сбора и обработки экспериментальных данных. Основными параметрами, по которым оценивалась эффективность СУПТ, являются рассчитанные по массиву радиус-векторов обработанной поверхности показатели точности. Получение массива осуществлялось профилографированием детали согласно оригинальной методике (АС СССР №1768947), предложенной в работе. Датчику сообщались гармонические колебания в направлении, перпендикулярном его прямолинейному движению вдоль контролируемой поверхности. Амплитуда колебаний равна половине ширины заготовки (датчик расположен на ее оси симметрии). Частота ν рассчитывалась по следующей формуле:

$$\nu = V_{\text{пп}} \cdot N / (L \cdot 1000), \text{ Гц} \quad (8)$$

где $V_{\text{пп}}$ - скорость линейного перемещения заготовки относительно щупа, м/с; L - длина измеряемого участка, мм; N - количество точек, необходимых для описания профиля. Траектория движения обеспечивалась системой ЧПУ и задавалась уравнением косинусоиды.

Экспериментальная проверка способов управления показателями точности позволяет сделать вывод о возможности их практического использования в действующем производстве. Оценка имитационной модели подтвердила ее адекватность реальному процессу. Несовпадение теоретических и экспериментальных данных - 14...18%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена актуальная задача, состоящая в разработке научно обоснованной методики поиска технических решений, способствующих повышению производительности и снижению стоимости обработки плоских поверхностей корпусных деталей на станках с ЧПУ.

Основные результаты, полученные в работе

I. Обоснована возможность и разработаны методические основы поиска эффективных способов управления показателями точности корпусных деталей при торцовом фрезеровании на станках с ЧПУ.

2. Разработана имитационная модель формообразования и методика численного определения показателей точности плоских поверхностей корпусных деталей.

3. Разработаны аналитические зависимости для расчета, составляющих силы резания, учитывающие изменение фактической глубины резания, влияние конструктивно-геометрических параметров и закона относительного движения инструмента и заготовки.

4. Получены конкретные технические решения (АС СССР №1780931; положительные решения по заявкам на изобретения № 5015729/08 и № 5038139), позволяющие в 1.3...1.6 раза улучшить показатели точности формы и волнистости и на 40% повысить производительность торцового фрезерования плоских поверхностей корпусных деталей на станках с ЧПУ.

Основные выводы по работе

1. Использование итеративной схемы поиска СУПТ, реализованной в виде автоматизированной обучаемой системы, обеспечило получение четырех решений, обладающих признаками патентной чистоты: способ обработки деталей торцовой фрезой (положительное решение по заявке № 5015729/08); резец (кассета модульной торцовой фрезы) (АС СССР № 1780931); способ обработки деталей переменной ширины (положительное решение по заявке №5038139/08); способ контроля топографии поверхностей деталей (АС СССР № 1768947).

2. Разработанные аналитические зависимости дают возможность для каждого момента времени установить взаимосвязь между составляющими суммарной силы резания и режимами, конфигурацией, физико-механическими свойствами заготовки, конструктивно-геометрическими параметрами фрезы, что позволяет использовать их в составе имитационной модели формообразования.

3. Изменение соотношения между продольной и поперечной подачами позволяет в отдельных случаях в 3.5 раза уменьшить отклонения от плоскости деталей сложной конфигурации.

4. Выбор оптимальных для данной ТС конструктивно-геометрических параметров фрезы, используемой в способе управления показателями волнистости, позволяет на порядок снизить амплитуду превалирующей гармоники в рассматриваемом спектре колебаний ТС.

5. Приведение спектра периодической возмущающей силы резания к ограниченному "белому шуму" за счет соответствующего выбора

значений главных углов в плане режущих зубьев торцовой фрезы и порядка их установки в корпусе позволяет получить "универсальные" параметры СУПТ, инвариантные к динамическим свойствам ТС.

6. Внедрение способа управления показателями волнистости (положительное решение по заявке на изобретение № 5015729/08) на заводе топливной аппаратуры ПО "Барнаултрансмаш" позволило повысить производительность операции торцового фрезерования плоскостей корпуса насоса в 1.4 раза. Совместное использование "Способа обработки деталей торцовой фрезой" и "Способа обработки деталей переменной ширины" (положительное решение по заявке на изобретение № 5038139/08) дало возможность сократить на 10% время фрезерования корпуса прибора в ПО "Луч" (г.Барнаул) и снизить отклонения от плоскостности и волнистость в 1.3...1.6 раза. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения результатов данной работы составил 100140 рублей (в ценах 1991 года).

Основные положения диссертации опубликованы в работах

1. Татаркин Е.Ю., Марков А.М. Анализ способов управления точностью обработки при фрезеровании на станках с ЧПУ // Тез. докл. науч.-техн. конф. Пути повышения качества и надежности инструмента. - Рубцовск, 1987.- с.55-56.

2. Татаркин Е.Ю., Марков А.М. Прогнозирование процесса формообразования при торцовом фрезеровании на станках с ЧПУ // Тез. докл. науч.-практ. конф. Повышение эффективности использования станков ЧПУ в производстве -Барнаул, 1987.- с.58-59.

3. Марков А.М. Проблемы обеспечения требуемой точности при торцовом фрезеровании на станках с ЧПУ.- В кн.: Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты автоматизированных производств. Межвуз.сб./ Алтайский политех. ин-т. -Барнаул, 1989, с.74-77.

4. Татаркин Е.Ю., Марков А.М., Головнин Ю.В. Повышение вибробустойчивости инструмента при торцовом фрезеровании // Тез. докл. науч.-практ. конф. Повышение эффективности технологических процессов машиностроительных производств.-Барнаул, 1989.- с.27-28.

5. Марков А.М., Ситников А.А., Татаркин Е.Ю. Применение векторного анализа для описания поверхности детали. В кн.: Современные методы повышения эффективности машиностроения: Тез. докл.

науч.-техн. конференции, Рубцовск, 1991, с.78-80.

6. Татаркин Е.И., Ситников А.А., Марков А.М. Создание автоматизированных измерительных систем на основе конструктивно-функционального анализа. В кн.: Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты автоматизированных производств: Межвуз. сб.: Барнаул, АлТИ, 1991, с.69-74.

7. Марков А.М. Татаркин Е.И. Автоматизированный синтез конструкций сборных торцовых фрез. // Тез. докл. науч.-техн. конф. Выбор конструкций и режимов резания при эксплуатации прогрессивного твердосплавного инструмента. -Свердловск, 1991.- с.12-13.

8. Марков А.М. Функциональный подход к проектированию способов управления фрезерованием. В кн.: Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты автоматизированных производств: Межвуз. сб.: Барнаул, АлТИ, 1991, с.81-89

9. Марков А.М., Татаркин Е.Ю. Синтез конструкций сборных торцовых фрез на И-ИЛИ-графе // Тез. докл. науч.-практ. конф. Специалисты АлТИ промышленности страны. -Барнаул, 1992.-с.15-16

10. А.с. ... (СССР). Способ обработки деталей переменной шириной. Положитель. решение по заявке на изобретение N 5038139/08 /Е.Ю.Татаркин, А.М.Марков, Д.О.Грабарев, Н.И.Терешкина.

11. А.с. ... (СССР). Способ обработки деталей торцовой фрезой. Полож. решение по заявке на изобретение N 5015729/08 /Е.Ю.Татаркин, А.М.Марков, Д.В.Головинев, Д.О.Грабарев.

12. А.с. N 1768947 (СССР). Способ контроля топографии обработанных поверхностей деталей / Е.Ю.Татаркин, А.А.Ситников, А.М.Марков, Д.В.Головинев, В.М.Воронец. - Опубл. 15.10.92, Бюл. N38.

13. А.с. N1780931 (СССР). Резец / Е.Ю.Татаркин, Д.В.Головинев, А.А.Ситников, А.М.Марков. - Опубл. 15.12.92., Бюл. N46.

Hoff

Заказ 675 Тираж 100 экз.
АО "АНТИМ" Барнаул-1993г.