

М441751

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ПОЛЯКОВ Сергей Алексеевич

УДК 621.914

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
ОБРАБОТКИ ПРОТЯЖЕННЫХ ПЛОСКОСТЕЙ ТОРЦОВЫМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ
НА СТАНКАХ С ЧПУ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1986 г.

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана

Научные руководители - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.С. КОРСАКОВ.
- кандидат технических наук, доцент Р.К. МЕЩЕРЯКОВ.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор И.М. КОЛЕСОВ.
- кандидат технических наук, доцент В.В. ГОРБУНОВ.

Ведущее предприятие - Московское ПО "Станкостроительный завод" имени Серго Орджоникидзе.

Защита состоится "17" февраля 1986 года на заседании специализированного совета К 053.15.15. в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

С диссертации"
Н.Э. Баумана.

Ваш отзыв :
печатью, просим

Авто

Ученый сек
кандидат 1
доцент

Типография МВТ.
Л - 97524

М441781

5 г.

Актуальность проблемы. Одним из основных направлений интенсификации механосборочного производства является повышение точности механической обработки, в частности, путем разработки и применения прогрессивных конструкций технологической оснастки и способов обработки, удовлетворяющих современным требованиям автоматизированного производства.

При изготовлении ответственных корпусных деталей (станин, салазок, стоек и т.п.) высокоточных изделий типа прецизионных металлорежущих станков особенно трудоёмкой является обработка точных направляющих, привалочных и базовых протяженных плоскостей (Ш) с размерными соотношениями (длины к ширине) $L/B \geq 20$. При обработке Ш характерно преобладание отклонений формы по длине по сравнению с отклонениями по ширине. В связи с требованием всемерного повышения качества выпускаемых изделий к Ш предъявляющая повышенные требования по точности размеров, формы и расположения. Для достижения высокой точности Ш в условиях серийного производства широко используют методы индивидуальной настройки и пригонки, требующие высокой квалификации рабочих и обладающие большой трудоёмкостью. Применение пригоночных работ препятствует осуществлению сборки на основе принципа взаимозаменяемости. Поэтому необходимо разработать и применить методы автоматического получения размеров, формы и расположения Ш, характеризующиеся низкой трудоёмкостью при наладке и переналадке технологической системы.

В последние годы для повышения эффективности обработки Ш успешно применяют метод фрезерования торцовыми фрезами, оснащенными режущими вставками из СМ. Однако, имеющиеся рекомендации по применению этого метода недостаточно полно учитывают его технологические возможности относительно повышения точности обработки, особенно в случае применения станков с ЧПУ и систем автоматического управления процессом формообразования. Поэтому исследования направленные на разработку новых и совершенствование существующих способов повышения точности обработки Ш торцовым фрезерованием на станках с ЧПУ является актуальным для машиностроения, особенно для условий автоматизированного производства.

Цель работы. Исследование и разработка технологических способов повышения точности обработки Ш торцовым фрезерованием на станках с ЧПУ; расширение их технологических возможностей путем разработки прогрессивных конструкций технологической оснастки и применения систем автоматического управления точностью обработки.

НТБ МТУ им. Н. Э. Баумана



1441751

Поляков С. А. Исследование



Методы исследования. Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения с применением современного математического аппарата (линейной алгебры, математической статистики). Исследования закономерностей образования и изменения погрешностей обработки III на переходах чистового торцового фрезерования выполнены на базе основных положений теории точности механической обработки. Экспериментальные исследования проводились в производственных и лабораторных условиях. Изучение процесса формообразования III осуществлялось с помощью разработанной методики оперативной оценки погрешностей обработки непосредственно на станке с применением современной контрольно-регистрирующей аппаратуры и ЭВМ.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлены доминирующие технологические факторы (геометрические неточности и температурные деформации технологической системы), влияющие на образование отклонений формы и расположения III на переходах чистового торцового фрезерования. Показана необходимость и целесообразность управления процессом формообразования; разработаны и экспериментально исследованы принципиально новые (признаны в 1985 г. изобретениями по заявкам 3755318/25-08, 3807912/25-08 от 1984 г.) способы обработки III и технологическая оснастка для их реализации, позволяющие компенсировать геометрические неточности, упругие и температурные деформации технологической системы, размерный износ режущего инструмента.

Практическая ценность. Практическое применение разработанных способов обработки и конструкций технологической оснастки для их реализации позволяет расширить технологические возможности станков за счёт: компенсации элементарных погрешностей обработки (геометрических неточностей, упругих и температурных деформаций технологической системы, размерного износа режущего инструмента), что обеспечивает уменьшение отклонений формы III на 50%; возможности формирования профиля III в пределах заданных допусков на отклонения формы. Предложенная методика оценки погрешностей обработки III непосредственно на станке справедлива для случаев изготовления прямолинейных и круговых протяженных плоскостей, цилиндрических поверхностей большого диаметра, длинномерных цилиндрических поверхностей. Практическая ценность методики заключается также в том, что она позволяет получать оперативную информацию о ходе технологического процесса, которая используется при определении функции компенсации (коррекции) для управления процессом формообразования.

Предложенные технологические решения удовлетворяют современным требованиям автоматизированного производства и могут быть использованы на предприятиях и в проектных организациях Минстанкопрома при проектировании автоматизированных станочных комплексов для обработки корпусных деталей, а также для модернизации действующего технологического оборудования.

Реализация результатов работы. Результаты работы по исследованию возможностей повышения точности и производительности механической обработки III и снижения трудоёмкости сборочных работ переданы в НПО Оргстанкинпром и Московское ПО "Станкостроительный завод" имени Серго Орджоникидзе.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ имени Н.Э. Баумана; республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности производства механизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении", г. Ташкент, 1983 г.; научно-технической конференции "Прогрессивные технологические процессы, механизация и автоматизация трудоёмких работ", г. Ижевск, 1983 г.; всесоюзном научно-техническом совещании "Механизация и автоматизация сборки изделий машиностроения для агропромышленного комплекса", г. Куйбышев, 1983 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Объем работы. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, выводов по главам и общих выводов; содержит 65 рисунков, II таблиц, список литературы из 78 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, дана характеристика её направленности и научной новизны.

В первой главе проанализированы пути совершенствования технологических методов обеспечения заданной точности плоских соединений, определены резервы повышения точности и производительности окончательной механической обработки III, сформулирована цель работы и поставлены задачи исследования.

Большой вклад в разработку теории механической обработки внесли Кован В.М., Соколовский Н.П., Балакшин Б.С., Базров Б.М., Гаврилов А.Н., Дальский А.М., Колесов И.М., Корсаков В.С., Подураев В.Н., Проников А.С. и др.

На основании литературного обзора и статистических производственных исследований установлено, что существенное значение для интенсификации механосборочного производства высокоточных изделий типа прецизионных металлорежущих станков имеет сокращение и устранение пригоночных работ при сборке соединений за счет повышения точности механической обработки, особенно при обработке III. По данным станкозаводов трудоёмкость пригоночных работ составляет в мелкосерийном производстве 20-25% от трудоёмкости сборки станков. В отдельных случаях пригонка шабрением является единственно возможным методом достижения заданной точности III по отклонениям формы и расположения.

Установлены основные пути совершенствования технологического обеспечения точности плоских соединений: оптимизированный подбор сопрягаемых деталей с помощью ЭВМ; сборка с применением полимерной компенсирующей прослойки; методы сопряженной обработки сопрягаемых деталей; механизация и автоматизация пригоночных работ; рациональное использование принципа взаимозаменяемости за счет повышения точности механической обработки сопрягаемых деталей. Показано, что особого внимания заслуживает повышение точности механической обработки. Основной задачей здесь является обеспечение высокой точности формы и расположения сопрягаемых поверхностей деталей. Обоснована перспективность исследования процесса обработки III тонким торцовым фрезерованием с применением системы автоматического управления точностью обработки.

На основании проведенного анализа в качестве объекта исследования выбраны технологические операции окончательной обработки III, сформулирована указанная выше цель работы и определены следующие задачи:

- выявить технологические закономерности образования отклонений формы и расположения протяженных плоскостей и формирования геометрических параметров их технологического микрорельефа на переходах чистового торцового фрезерования;
- разработать способы повышения точности обработки протяженных плоскостей торцовым фрезерованием на станках с ЧПУ; обосновать возможность и целесообразность применения автоматической системы компенсации погрешностей обработки для уменьшения отклонений формы и расположения протяженных плоскостей;
- разработать и экспериментально апробировать методику оперативной оценки погрешностей обработки протяженных плоскостей по отклонениям формы и расположения непосредственно на станке;

- разработать конструкцию технологической оснастки, позволяющей автоматически управлять положением формообразующего режущего лезвия инструмента в процессе обработки; исследовать эффективность её применения;

- разработать рекомендации по расширению области применения разработанных технологических мероприятий и определить перспективы их развития.

Во второй главе проведен анализ трудоёмкости, производительности и точности различных операций, применяемых при окончательной обработке ШП; исследованы возможности формирования требуемого технологического микрорельефа ШП торцовым фрезерованием.

Для сопоставления различных операций окончательной обработки ШП проанализированы применяемые методы обработки по их трудоёмкости и производительности. Для шабрения плоскостей получена зависимость, определяющая влияние размерных соотношений ШП (длины L , ширины B , площади F) на трудоёмкость выполнения пригоночных работ

$$T = 0,294 (L / B)^{0,0735} F^{-0,205},$$

где T - время шабрения 1 см^2 поверхности, в мин.

$$T_d = 0,294 \sum_{i=1}^n (L / B)^{0,0735}_i F_i^{0,795} K_i,$$

где T_d - время шабрения плоскостей обрабатываемой детали, в мин;
 n - количество обрабатываемых поверхностей детали;

K_i - коэффициент, учитывающий условия обработки i -ой поверхности детали, $K_i = K_1 K_2 \dots$, где K_1 - учитывает точность шабрения, K_2 - припуск, и т.д.

При этом значения величин L и B взяты соответственно в диапазонах 50...6000 мм и 10...200 мм. Установлено, что высокая трудоёмкость шабрения характерна как для деталей, имеющих протяженные плоские поверхности типа направляющих, так и для деталей, имеющих большое количество точно расположенных привалочных плоскостей небольших по площади. Замену шабрения указанных деталей механической обработкой можно проводить различными методами (строганием, шлифованием торцом и периферией круга). Показано, что наиболее универсальным методом является тонкое торцовое фрезерование. Анализ различных методов окончательной обработки ШП по критерию тех-

нологической объемной относительной производительности Q'_r ($\text{мм}^3/\text{с}$) показал, что фрезерование торцовыми фрезами, оснащенными режущими вставками из СТМ, приближается к строганию широкими резцами. Показатель производительности Q'_r при обработке ШП однозубой торцовой фрезой равен

$$Q'_{r\phi} = V \cdot S \cdot t \cdot \Delta B / \pi \cdot 1,25 B, \quad \text{мм}^3/\text{с},$$

где V – скорость резания; S – подача инструмента (или заготовки), $\text{мм}/\text{об}$; t – глубина фрезерования; B – ширина фрезерования; диаметр фрезы принят равным $D_\phi = 1,25 B$; $\Delta B = 1 \text{ мм}$.

В диссертации представлены аналогичные зависимости для других методов обработки ШП (шлифования торцом и периферией круга, ручного и механизированного шабрения, строгания широкими резцами).

Проведен анализ закономерностей образования и изменения погрешностей обработки ШП при торцовом фрезеровании. В настоящее время траектория движения формообразующего лезвия режущего инструмента при торцовом фрезеровании принята простейшей: сочетание вращательного и поступательного движений инструмента и заготовки. Однако при обработке возникают дополнительные смещения элементов технологической системы от упругих и температурных деформаций, геометрических погрешностей станков. Чтобы обеспечить положение формообразующего лезвия режущего инструмента на номинальной траектории, обеспечивающей получение заданной поверхности с минимальной ошибкой, указанных основных движений недостаточно. Следует сообщить элементам технологической системы дополнительные малые смещения для компенсации элементарных погрешностей обработки. Тогда смещение Δ вершины формообразующего лезвия режущего инструмента в общем случае равно

$$\Delta = \sum_i A_i P_i + \sum_j A_j V_j + A_0 U,$$

где P_i – элементарное силовое воздействие, зависящее (усилие резания) или не зависящее (усилие закрепления) от параметров режима резания; V_j – элементарное несиловое воздействие, например геометрические погрешности станка; A – оператор системы, обозначающий задание способа, с помощью которого при известных воздействиях определяются элементарные смещения; U – управляющее воздействие (смещение) на элементы технологической системы.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена во-

способность формирования на плоских поверхностях, обрабатываемых торцовым фрезерованием (однозубой фрезой), регулярного микрорельефа с геометрическими параметрами по ГОСТ 24773-81. Взаимосвязь геометрических параметров микрорельефа, режимов фрезерования и настроечных размеров определяется параметрическими уравнениями, описывающими траекторию вершины режущего ножа торцовой фрезы в процессе обработки в координатах X, Y

$$X = St/2\pi - D_{\text{фр}} \sin t/2,$$

$$Y = S/2\pi - D_{\text{фр}} \cos t/2,$$

где X — направление относительного перемещения инструмента вдоль обрабатываемой поверхности, причем центр вращения фрезы отстоит от этой оси на расстоянии $S/2\pi$; Y — координата, лежащая в плоскости обработки и перпендикулярная X ; S — подача фрезы, мм/об; $D_{\text{фр}}$ — диаметр фрезы; t — параметр уравнений (угол поворота вершины ножа фрезы). При изменении t от 0 до 2π вершина ножа описывает кривую, соответствующую одному обороту фрезы. Для повышения производительности фрезерования рекомендуется придавать зачистному режущему лезвию торцовой фрезы скругленную форму по дуге окружности радиусом $R = 60 \dots 500$ мм и более, что обеспечивает возможность работы на повышенной подаче $S_x = 0,8 \dots 2,5$ мм/зуб и более.

Установлено, что особенностью микрорельефа фрезерованных плоскостей является быстрая его прирабатываемость, что способствует быстрому его переходу к рабочему технологическому микрорельефу поверхности детали, который образуется при работе направляющих скольжения.

В третьей главе приведена методика оперативной оценки погрешностей обработки III по отклонениям формы и расположения непосредственно на станке, представлены результаты её экспериментальной апробации. В основу методики положена идея использования "шагового" метода измерений. Для этого на станке посредством двух датчиков Д1 и Д2 малых линейных перемещений, установленных на фиксированном расстоянии друг от друга, определяют относительные смещения формообразующего органа станка и обрабатываемой детали на каждом шаге измерений, равном расстоянию между датчиками. Методика позволяет одновременно определять отклонения формы детали Δ_d и геометрические погрешности станка $\Delta_{\text{ст}}$ (отклонения от пря-

молинейности перемещения его формообразующего органа). Для каждого шага измерений, в i -ой точке контролируемого профиля плоской поверхности, справедливы соотношения

$$\begin{aligned}\Delta_{ст i} &= (D1_i - D2_i) + \Delta_{ст i-1}, \\ \Delta_{д i} &= (D2_i - D2_{i-0}) + \Delta_{ст i}, \\ \Delta_{д i} &= (D1_i - D2_{i-1}) + \Delta_{д i-1},\end{aligned}\quad (I)$$

где $D1_i$ и $D2_i$ - численные значения показаний соответственно первого и второго датчиков в i -ой точке контролируемой поверхности. Экспериментальная апробация методики проводилась в двух режимах измерения - дискретном и непрерывном. В качестве измерительной системы применялись приборы показывающие модели 2Г7 с индуктивными преобразователями модели 234 (завод-изготовитель - "Калибр", г. Москва). Установлено, что непрерывный режим измерений является предпочтительным с точки зрения исключения вредного влияния переходных процессов "пуск-стоп", имеющих место при дискретных измерениях. Точность оценки погрешностей обработки при непрерывном режиме измерений повышается на 6-9% по сравнению с дискретным. Экспериментальные исследования показали, что при оценке погрешностей обработки по предложенной методике необходимо учитывать перекосы рабочих органов станка, возникающие при их относительном перемещении. Выявлена принципиальная возможность их учета посредством выполнения дополнительных вычислений, а также применения схемы измерения с использованием трех датчиков. Предложена структура и алгоритм работы автоматической системы для оперативной оценки погрешностей обработки III непосредственно на станке.

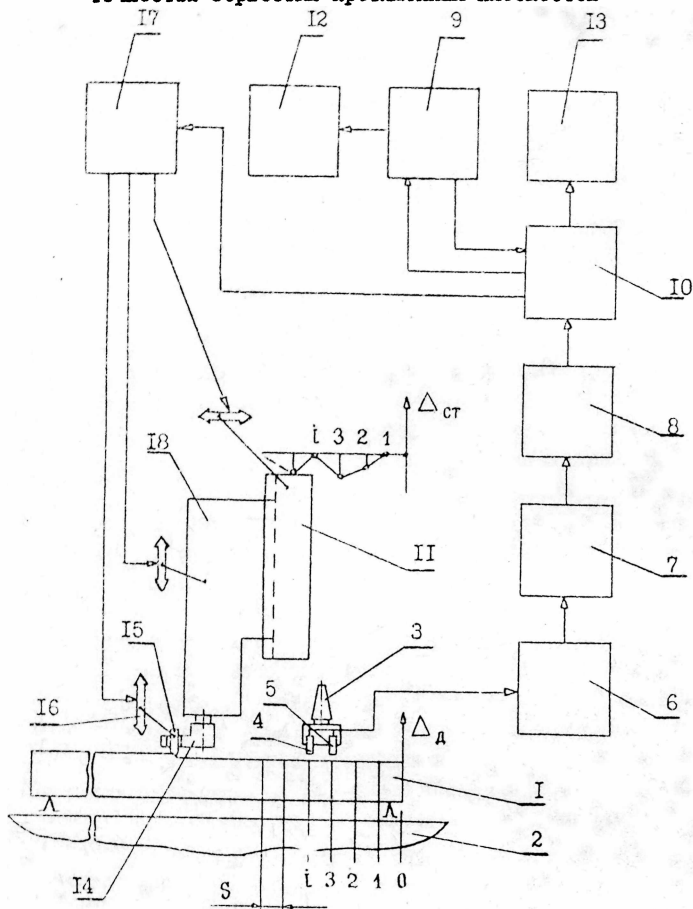
Четвертая глава посвящена разработке и исследованию технологических способов повышения точности обработки III тонким торцовым фрезерованием. Предложены следующие варианты обработки III деталей: 1) полуставная обработка без применения системы автоматического управления процессом формообразования - контроль (по методике изложенной выше) погрешностей обработки непосредственно на станке с выделением геометрических неточностей (отклонений от прямолинейности перемещения) формообразующих элементов технологической системы - окончательная обработка с использованием системы автоматического управления точностью обработки; 2) обработка

1-ой детали - контроль - обработка 2-ой и последующих деталей с компенсацией геометрических неточностей станка, выявленных при обработке 1-ой детали; 3) контроль точности заготовки, точности и жесткости технологической системы - вычисление функции коррекции (компенсации) - управляемая обработка; 4) в процессе обработки осуществляется контроль положения формообразующих элементов технологической системы, определяется и отрабатывается управляющее компенсирующее воздействие (системы автоматического управления точностью обработки с обратной связью).

На рисунке представлена схема технологической системы для реализации 1-го способа обработки, который признан изобретением (положительное решение от 17.09.85 г. по заявке 3755318/25-08 от 14.05.84 г.). На рисунке обозначено: I2, I3 - устройства вывода информации (цифropечатающее устройство, дисплей или самописец); I4 - управляемая оправка для торцового фрезерования с устройством автоматического регулирования положением формообразующего лезвия режущего инструмента в процессе обработки; I5 - управляемый нож торцовой фрезы; I6 - привод микрометрических перемещений ножа фрезы; I7 - устройство управления станком и оправкой.

Технологическая система работает следующим образом (см. рисунок). После получистового хода обработки детали I, закрепленной на рабочей поверхности стола 2 станка, из инструментального магазина в шпиндель станка автооператором устанавливается специальная оправка 3 с двумя датчиками 4 и 5, расположенными на фиксированном расстоянии S друг от друга. При установке оправки датчики автоматически подключаются к измерительной системе. По программе происходит относительное перемещение первичных датчиков вдоль обрабатываемой поверхности детали I. Результаты измерений подаются в вычислительное устройство 9 (микро-ЭВМ), которое рассчитывает количественные значения отклонений от прямолинейности поверхности обрабатываемой детали Δ_d и траектории перемещения рабочего органа II станка $\Delta_{ст}$ по алгоритму, основанному на соответствующих формулах (I), приведенных выше. Вычисленные значения Δ_d и $\Delta_{ст}$ могут быть выведены на цифropечатающее устройство I2, дисплей I3 или представлены в виде графиков с помощью самописца. После выполнения измерений в шпиндель станка автооператором из инструментального магазина устанавливается специальная автоматически управляемая фрезерная оправка I4, конструкция которой позволяет автоматически регулировать положением вершины режущего ножа I5 инст-

**Принципиальная схема системы автоматического управления
точностью обработки протяженных плоскостей**



I - обрабатываемая деталь; 2 - стол станка; 3 - измерительная оправка с двумя датчиками 4 и 5 малых линейных перемещений; 6 - электронная система датчиков 4 и 5; 7, 8 - устройства преобразования результатов измерений в форму удобную для ввода в микро-ЭВМ 9; 10 - устройство сопряжения микро-ЭВМ с внешними объектами; II - формообразующий орган станка.

румента в процессе обработки. При установке фрезерной оправки в посадочный конус шпинделя встроенный в неё привод микрометрических перемещений 16 режущего ножа автоматически подключается к системе управления 17. На окончательном проходе обработки по результатам вычислений $\Delta_{ст}$ и $\Delta_{д}$ осуществляют коррекцию управляющей программы путем ввода количественных значений $\Delta_{ст}$ и $\Delta_{д}$ в систему управления. При этом рассчитанные значения отклонений $\Delta_{д}$ из вычислительного устройства через устройство сопряжения передают в систему управления, посредством которой осуществляют управление механизмом микрометрических непрерывных перемещений режущего ножа инструмента в процессе обработки. Полученная информация о траектории перемещения рабочего органа станка $\Delta_{ст}$ может быть использована в дальнейшем при получистовой обработке следующей детали с целью компенсации геометрических погрешностей станка.

Экспериментально установлено, что при чистовой обработке в условиях теплового равновесия доминирующее влияние на образование отклонений формы III оказывают геометрические погрешности станка. Поэтому в данном случае рационально применять 2-ой способ обработки, при котором контроль можно производить выборочно, что сокращает время контрольных измерений.

В перспективе, рассмотренный способ обработки может быть использован для управления точностью по входной (точность заготовки, станка и т.д.) и выходной (точность детали) информации (3-ий способ обработки).

Для реализации 4-го способа обработки предложена схема технологической системы для управления процессом формообразования III с использованием копирной линейки для компенсации геометрических погрешностей станка.

Рассмотренные способы обработки направлены на расширение технологических возможностей станков с ЧПУ по точности обработки с целью более полного использования принципа взаимозаменяемости при обеспечении заданной точности плоских соединений.

В некоторых экономически обоснованных случаях рациональным является обеспечение заданной точности сопряжения плоских поверхностей путем частичного отказа от принципа взаимозаменяемости. В этом случае одну из сопрягаемых деталей, как правило более ответственную (например станину), окончательно обрабатывают по расширенным экономически выгодным допускам на сопрягаемые размеры. Парную деталь (например суппорт) автоматически подгоняют по сопряженной на станке с ЧПУ. Технологический процесс пригонки включает следу-

кие основные этапы: этап I - измерение сопрягаемых размеров $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$ окончательно обработанной парной детали; этап 2 - предварительная обработка сопряженной детали по результатам измерений размеров парной детали; этап 3 - измерение фактических размеров $A_{\phi 1}, A_{\phi 2}, A_{\phi 3}, \dots, A_{\phi i}$ обрабатываемой детали после предварительной обработки и сопоставление их с заданными A_i , т.е. определение поправок $\Delta A_i = A_{\phi i} - A_i$; этап 4 - окончательная обработка путем поднастройки на величину ΔA_i .

Следует отметить, что применение управляемого инструмента позволяет более рационально использовать технологические возможности оборудования. Это проявляется в том, что при отработке требуемой величины коррекции её можно разделить между формообразующим рабочим органом станка и режущим инструментом, причем на долю последнего приходится микрометрические перемещения (в пределах например 10 мкм), отработку которых перемещением рабочих органов оборудования (суппортов, салазок, столов, стоек и т.п.) осуществить достаточно сложно из-за значительного влияния подвижных масс, трения в подвижных соединениях и т.д. В то же время осуществление коррекции величиной более 10 мкм только перемещением самого режущего лезвия инструмента приводит к увеличению размеров приводов малых перемещений, что делает затруднительным их встраивание в заданные габариты режущего инструмента. Поэтому предлагаемое техническое решение, при котором отработку коррекции осуществляют одновременным перемещением рабочего органа станка и режущего инструмента, позволяет целесообразно использовать технологические возможности оборудования и технологической оснастки.

Для реализации предложенных способов обработки разработана и экспериментально исследована конструкция оправки для торцового фрезерования с устройством автоматического регулирования положением режущего ножа фрезы в процессе обработки. Работа привода (пьезодвигателя) оправки основана на использовании обратного пьезоэффекта. Вследствие изменения управляющего электрического напряжения, подаваемого на пьезодвигатель, его линейные размеры меняются. Он удлиняется или укорачивается в зависимости от полярности управляющего электрического сигнала. Изменение размеров пьезодвигателя приводит к смещению режущего ножа фрезы. Для замыкания кинематической цепи предусмотрен упругий элемент. Пьезоэлектрический двигатель представляет собой пакет (столбик) из пьезоэлектрических дисков. В данной конструкции пьезоэлектрический привод встроен в корпус инструмента (оправку для торцового фрезерования).

Такая конструкция приближается к варианту при котором управляющий сигнал непосредственно воздействует на перемещение режущего лезвия инструмента. В соответствии с изложенным была изготовлена автоматически управляемая оправка для торцового фрезерования. Экспериментальные исследования по оценке эффективности её применения показали, что отклонения формы III могут быть уменьшены до 50%.

Исследована возможность применения разработанной конструкции оправки для диагностирования осевой силы резания при торцовом фрезеровании. В этом случае, в процессе обработки, на пьезоэлектрическом приводе оправки регистрировался вырабатываемый электрический сигнал (прямой пьезоэффект). Опыты показали возможность использования оправки для диагностирования осевой силы резания в условиях чистового фрезерования. В процессе экспериментов осевая сила резания не превышала 50 Н при обработке серого чугуна (глубина резания до 0,3 мм, ширина обработки до 45 мм, материал режущего лезвия - композит ОI). Контрольные измерения осевой силы резания с помощью универсального тензометрического динамометра УДМ подтвердили достоверность результатов экспериментов.

По результатам исследований даны рекомендации по усовершенствованию конструкции автоматически управляемой оправки для торцового фрезерования, реализация которых позволит повысить эффективность её применения с точки зрения дальнейшего повышения точности обработки.

В пятой главе даны рекомендации по расширению области применения разработанных способов обработки и методики оценки погрешностей обработки, выполнен расчет экономической эффективности внедрения разработанных технологических решений. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения рекомендаций работы составит 7690 рублей на одну технологическую систему.

Приведено описание перспективной конструкции технологической оснастки для торцового фрезерования с магнитострикционным приводом (признано изобретением 27.03.85 г. по заявке 3807912/25-08 от 5.II.84 г.). Ось магнитострикционного привода совмещена с осью вращения фрезы. Для замыкания кинематической цепи применен упругий рычаг. Показано, что методика оценки погрешностей обработки непосредственно на станке пригодна для случаев изготовления круговых протяженных плоскостей, цилиндрических поверхностей большого диаметра, длинномерных цилиндрических поверхностей.

ВЫВОДЫ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований в работе установлены закономерности образования и изменения отклонений формы и расположения протяженных плоскостей на переходах чистового торцового фрезерования. Выявлено доминирующее влияние на образование указанных отклонений геометрических погрешностей станка и температурных деформаций технологической системы, которые не могут быть компенсированы традиционными методами.

2. Обоснована необходимость и экспериментально подтверждена целесообразность автоматического управления процессом формообразования путем применения разработанных способов обработки (признано изобретением 17.09.85 г. по заявке 3755318/25-08 от 14.05.84 г.) и технологической оснастки (признано изобретением 27.03.85 г. по заявке 3807912/25-08 от 5.11.84 г.) для их реализации, позволяющих компенсировать элементарные погрешности обработки (геометрические погрешности, упругие и температурные деформации технологической системы, размерный износ режущего инструмента).

3. Реализация разработанных технологических решений, включающих методики оценки погрешностей обработки протяженных плоскостей непосредственно на станке с возможностью выделения его геометрических неточностей и технологическую оснастку для торцового фрезерования с устройством автоматического управления положением (менее 0,02 мм) режущего лезвия инструмента в процессе обработки, позволяет уменьшить отклонения формы протяженных плоскостей до 50%.

4. Показано, что разработанная конструкция управляемой технологической оснастки может быть использована для диагностирования изменения осевой силы резания P_x в процессе чистового торцового фрезерования. Установлено, что существенное изменение величины осевой силы резания $P_x = 0...50$ Н (при обработке серого чугуна СЧ24, НВ 197-200; ширина обрабатываемой поверхности $B \leq 45$ мм; глубина резания $t \leq 0,3$ мм; подача на зуб $S_z \leq 0,05$ мм/зуб; скорость резания $V = 5$ м/с; материал режущего лезвия - композит ОI) при выполнении чистового перехода обработки за один установ детали после получистового перехода обработки имеет место на участках входа и выхода фрезы из обработки.

5. Установлено, что при оценке погрешностей обработки непосредственно на станке по предложенной методике предпочтитель-

ным является непрерывный режим измерений. Точность оценки повышается на 6-9% за счет исключения вредного влияния переходных процессов режима "пуск-стоп", имеющих место при дискретных измерениях.

6. Установлено, что отклонения от прямолинейности траекторий перемещения формообразующих органов станка в прямом и обратном направлениях могут быть различными. Поэтому этот факт необходимо учитывать при определении функции компенсации погрешностей обработки. Рекомендуется оценку погрешностей обработки с помощью разработанной методики и дальнейшую окончательную обработку протяженных плоскостей осуществлять при перемещениях рабочих органов станка в одном направлении.

7. Показано, что разработанная методика оценки погрешностей обработки непосредственно на станке справедлива для случаев изготовления прямолинейных и круговых протяженных плоскостей, цилиндрических поверхностей большого диаметра (более метра), длинномерных цилиндрических поверхностей ($L/D > 20$).

8. Установлено, что кинематические особенности торцового фрезерования позволяют формировать на обрабатываемых поверхностях регулярный микрорельеф с геометрическими параметрами, соответствующими ГОСТ 24773-81. Микрорельеф поверхности, образованный торцовым фрезерованием, за счет его высокой прирабатываемости способствует быстрому переходу к технологическому рельефу с заданными эксплуатационными свойствами, характерными для подвижных соединений.

9. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании автоматизированных станочных комплексов для обработки корпусных деталей, а также для модернизации действующего технологического оборудования с целью расширения его технологических возможностей.

10. Перспективными направлениями совершенствования разработанных технологических решений являются: применение в конструкции автоматически управляемой технологической оснастки для торцового фрезерования в качестве привода микрометрических перемещений магнитострикционных преобразователей; использование принципа обратной связи (по усилию резания) для управления пьезоэлектрическим приводом с целью дальнейшего повышения точности обработки; обеспечение возможности работы системы автоматического управления точностью обработки в режиме самообучения по результатам входных и выходных параметров.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Корсаков В.С., Поляков С.А. Совершенствование методов контроля плоских поверхностей при автоматизации пригоночных работ. - ЭИ. Обработка резанием. - М.: НИИМаш, 1984, № 8, с. II-15.
2. Корсаков В.С., Поляков С.А., Соловейчик Л.М. Влияние размерных соотношений плоских поверхностей на трудоёмкость шабрения. - В сб.: Технология, организация и экономика машиностроительного производства. - ВНИИТЭМР, 1985, вып. 3, с. 5 - 7.
3. Поляков С.А. Метод контроля отклонений от прямолинейности плоских длинномерных поверхностей. - Информационный листок / МПНТИ, 1984, № 136-84, с. I - 4.
4. Поляков С.А. Методика и средства исследования точности обработки плоских круговых и цилиндрических поверхностей большого диаметра. - ЭИ. Режущие инструменты. - М.: ВНИИТЭМР, 1985, № 2, с. 5 - 8.
5. Меняев В.А., Поляков С.А. Автоматизация процесса пригонки многопараметровых сопряжений. - Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении: Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. - Ташкент, 1983, с. 80 - 81.
6. Меняев В.А., Поляков С.А. Автоматическая система для пригонки сопрягаемых между собой деталей. - Информационный листок / МПНТИ, 1983, № 345-83, с. I - 4.

Поляков