

1558520

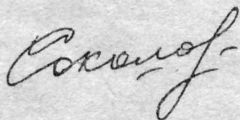
На правах рукописи

СОКОЛОВА ИРИНА ДМИТРИЕВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ НАСЛЕДСТВЕННЫХ
ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ВЫСОКОТОЧНОМ ШЛИФОВАНИИ
ВАЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНЫХ КРУГОВОЙ
И ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧ

Специальность 05.02.08
Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 1998

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом
Университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель - Заслуженный деятель науки и техники
РСФСР, доктор технических наук, про-
фессор Дальский А.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Стибнев А.В.
кандидат технических наук, доцент
Полтавец О. Ф.

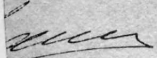
Ведущее предприятие - ОАО «Калужский турбинный завод»

Защита диссертации состоится «25» ИЮНЯ 1998 г. на за-
седании диссертационного совета К 053.15.15 в Московском Государ-
ственном университете им. Н. Э. Баумана, по адресу:
Тульская ул., дом 5.

Справка хранится в библиотеке МГТУ им. Н.

Ом экземпляре, заверенный печат-
ным адресом.

«22» МАЯ 1998 г.


Васильев А.С.



1558520

Соколова И. Д. Исследование

Я ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



Машиностроение, поставляющее новую технику всем отраслям промышленности, определяет технический прогресс страны. Важнейшей характеристикой современных машин является их качество.

Точность большинства изделий машиностроения и приборостроения является важнейшей характеристикой их качества. Повышение точности изготовления деталей увеличивает надежность эксплуатации механизмов и машин. Этим объясняется непрерывное ужесточение требований к точности изготовления деталей. В настоящее время для некоторых точных изделий требуются детали с допусками в несколько микрометров или даже десятых долей микрометра. Например, в сопряжении ответственных деталей теодолитов допускается колебание зазора от 0,6 до 1,0 мкм.

Одним из методов решения проблемы повышения точности изготовления изделий является использование учения о технологической наследственности. Таким термином характеризуется передача различных свойств объекта от одной технологической операции к другой и устойчивое сохранение этих свойств во времени. Теория технологического наследования имеет наиболее существенное значение для высокоточных деталей.

Распространенным методом финишной обработки деталей типа валов является их шлифование на неподвижных центрах. В этом случае на точность формы обработанной поверхности детали в поперечном сечении существенное влияние оказывают отклонения формы центровых отверстий и погрешности формы обработанной поверхности, наследуемые заготовкой с предыдущих операций.

Существующие технологические методы уменьшения наследственных погрешностей при высокоточном шлифовании валов имеют те или иные недостатки эксплуатационного и функционального характера и приносят эффект лишь при определенных условиях.

При использовании известного способа с встраиванием электромагнитных механизмов (ЭММ) в цепь продольной подачи станка при первом проходе шлифовального круга относительно заготовки уменьшаются погрешности формы ее поверхности и наследуются погрешности формы центровых отверстий. Этот способ невозможно применить при врезном шлифовании.

М Г Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Таким образом, проблема обеспечения высокой точности изделий актуальна. В условиях дальнейшего ужесточения требований к качеству деталей необходимо было отыскать новые технологические решения.

Предлагается новый метод высокоточного шлифования валов с применением в цепи передачи вращения заготовки электромагнитного устройства (ЭМУ) с комбинацией известного способа с использованием электромагнитных механизмов (ЭММ) в цепи продольной подачи станка.

Цель работы. Исследование влияния неравномерных круговой и продольной подач на наследование деталью погрешностей формы обрабатываемой поверхности и поверхности центровых отверстий при высокоточном шлифовании на неподвижных центрах. Исследование влияния неравномерных круговой и продольной подач на шероховатость поверхности деталей. Разработка конструкции, методики проектирования и расчета ЭМУ, обеспечивающего неравномерную круговую подачу, с целью повышения точности формы обрабатываемой поверхности. Исследование условий максимального уменьшения величины наследования погрешностей формы поверхности поперечного сечения и разработка практических мероприятий по обеспечению долемикрометрической точности формы гладкой цилиндрической поверхности при шлифовании на неподвижных центрах. Внедрение в производство.

Методы исследования. В диссертации применены положения из курсов теоретической механики, электротехники, высшей математики, теории резания для составления математической модели, описывающей процесс формообразования в условиях неравномерных круговой и продольной подач. Полученные дифференциальные уравнения были решены с помощью персонального компьютера. Экспериментальные исследования производились на круглошлифовальном станке при использовании специально разработанных электромагнитных устройств. При проведении экспериментов использовалась стандартная измерительная аппаратура. При обработке экспериментальных данных использовались положения теории вероятностей и математической статистики.

Научная новизна. Вскрыта закономерность уменьшения наследственных погрешностей формы детали в поперечном сечении при одновременном применении неравномерных круговой и продольной

подач. Предложен способ прецизионного шлифования деталей типа вала с неравномерными круговой и продольной подачами при применении ЭМУ и ЭММ. Такое комбинированное электромагнитное устройство (КЭМУ) позволяет осуществить динамическое демпфирование поперечных колебаний заготовки, вызванных отклонениями от круглости ее шлифуемой поверхности. Эти отклонения могут быть наследованы как на предыдущих операциях, так и в процессе прецизионного шлифования вследствие отклонений формы поверхности центровых отверстий. При одном проходе шлифовального круга относительно заготовки одно из устройств (ЭМУ) уменьшает погрешности формы поверхности заготовки, вызванные ее наследственными отклонениями, другое устройство (ЭММ) уменьшает наследуемые заготовкой отклонения, вызванные погрешностями формы центровых отверстий. Это подтверждается выведенными в результате математического моделирования зависимостями между жесткостями ЭМУ, ЭММ и характером исходных отклонений формы поверхности обрабатываемой заготовки и центровых отверстий, что было использовано в методике расчета и проектирования ЭМУ.

Практическая ценность. Разработанная конструкция комбинированного электромагнитного устройства (КЭМУ) позволяет применять его на круглошлифовальных станках моделей 3Б12, 3Е12 для обработки высокоточных деталей типа вала диаметром 6...80 мм и длиной до 300 мм. При этом отклонения от круглости достигают 0,1...0,3 мкм, шероховатость обработанной поверхности $Ra=0,06$...0,08 мкм.

Апробация работы. Основные результаты проделанной работы были доложены на российских научно-технических конференциях, проводившихся в г. Калуге в 1994, 1995 гг., на научно-технических семинарах кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1994, 1995 гг. и кафедры «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1994, 1995, 1996, 1997 гг. Было осуществлено внедрение КЭМУ для высокоточной обработки валов на АООТ «Калужский приборостроительный завод «Тайфун». Условный экономический эффект от внедрения составил 234640 руб.(в ценах после деноминации).

Публикация. Основное содержание диссертации отражено в пяти печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов с

выводами, общих выводов, библиографии и двух приложений. Содержит 156 страниц текста, 12 таблиц, 34 рисунка и список литературы, включающий 67 источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе диссертации проведен анализ существующих способов высокоточной обработки валов и обоснование применения предлагаемого метода обработки на круглошлифовальных станках. Выведены задачи исследования.

Получить детали, у которых отклонения от круглости формы поверхности исчисляются в долях микрометра, невозможно путем создания только одного прецизионного оборудования с улучшенными точностными характеристиками, минуя технологические условия обработки высокоточных деталей.

Из анализа рассмотренных работ видно, что на образование отклонений формы поверхности деталей при высокоточном шлифовании на неподвижных центрах существенное влияние оказывают погрешности формы поверхности центровых отверстий и наследственные погрешности, полученные заготовкой с предыдущих операций. В этих работах приведены методы борьбы с указанными погрешностями: правка центровых отверстий; применение сферической пары центр-центровое отверстие и торцовых поводковых устройств; создание адаптивных систем и дорогостоящего прецизионного оборудования; использование специальных устройств и электромагнитных механизмов. Но данные методы имеют ограничения в применении.

На основании проведенного анализа был сделан вывод о необходимости создания комбинированного электромагнитного устройства, решающего проблему максимального снижения наследования деталью погрешностей формы поверхности, на имеющемся оборудовании нормальной точности, что в настоящее время весьма актуально. Предлагаемый метод предусматривает шлифование высокоточных валов в условиях неравномерных круговой и продольной подач (рис. 1).

Неравномерная круговая подача обеспечивается встраиванием ЭМУ в цепь передачи вращения заготовке от двигателя станка. Силовая связь с расчетной регулируемой жесткостью k_p между двигателем и заготовкой обеспечивается за счет электромагнитного поля ЭМУ. Неравномерная продольная подача создается встраиванием ЭММ в цепь продольной подачи станка. Силовая связь с расчетной регулируемой жесткостью k_z между заготовкой и столом круглошлифовального станка обеспечивается за счет электромагнитного поля ЭММ. В результате крутильные и продольные колебания заготовки, возникающие в процессе резания, от возбуждающей силы, вызванной отклонениями формы поверхности заготовки, уменьшают амплитуду поперечных колебаний заготовки и шлифовального круга, т.е. способствуют повышению точности формы обрабатываемой поверхности.

ЭМУ и ЭММ просты по конструкции, надежны и мобильны. Для доказательства вышесказанного были поставлены следующие задачи исследования:

Теоретические исследования.

1. Исследовать процесс формообразования поверхности детали при высокоточном круглом шлифовании на неподвижных центрах в условиях неравномерных круговой и продольной подач.

2. Исследовать условия максимального уменьшения величины наследования погрешностей формы поверхности поперечного сечения при высокоточном круглом шлифовании на неподвижных центрах в условиях неравномерных круговой и продольной подач.

3. Разработать методику расчета ЭМУ с целью встраивания его в цепь круговой подачи станка.

Экспериментальные исследования

1. Исследовать влияние отклонений от круглости наружной поверхности обрабатываемой заготовки и центровых отверстий на точность формы деталей при высокоточном круглом шлифовании в условиях неравномерных круговой и продольной подач.

2. Исследовать условия уменьшения отклонений от круглости гладких валов при круглом высокоточном шлифовании в условиях неравномерных круговой и продольной подач.

3. Исследовать влияние неравномерных круговой и продольной подач на шероховатость поверхности.

4. Разработать практические мероприятия по обеспечению доле-

микрометрической точности формы цилиндрической гладкой поверхности при шлифовании на неподвижных центрах.

Во втором разделе диссертации проделан теоретический анализ процесса формообразования наружной поверхности высокоточных валов в условиях неравномерных круговой и продольной подачи. Разработана математическая модель, учитывающая то, что исходные отклонения формы обрабатываемой поверхности в поперечном сечении и непостоянство жесткости сопряжения «центр-заготовка» по углу поворота заготовки приводят к изменению фактической глубины резания (и, следовательно, усилий резания при обработке), т.е. к наследованию деталью погрешностей формы. Система «заготовка-шлифовальный круг - КЭМУ» представлена состоящей из четырех систем со своей жесткостью: «система заготовки» с жесткостью сопряжения «центр-заготовка» у левого и правого центров - опор; «система шлифовального круга» с жесткостями левой и правой опор шпинделя шлифовального круга; «система ЭМУ» с «жесткостью» его электромагнитного поля; «система ЭММ» с «жесткостью» их электромагнитного поля.

Для составления уравнений движения системы «заготовка-шлифовальный круг - КЭМУ» были сделаны допущения: заготовка абсолютно жесткая; погрешности формы шлифовального круга после тщательной правки незначительны, их можно не учитывать; т.к. ЭММ обладают малой жесткостью, заготовку в направлении действия продольной составляющей силы резания можно считать неподвижной относительно центров и их опор; угловая скорость вращения шлифовального круга (ω_2) и продольная подача $S_{пр.}$, обеспечиваемая станком, - величины постоянные.

В результате преобразований получена линейная неоднородная система дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами. Она описывает гармонические колебания системы «заготовка-шлифовальный круг - КЭМУ», вызванные воздействием переменных составляющих силы резания благодаря исходным отклонениям формы обрабатываемой поверхности, воздействием переменной жесткости в опорах заготовки. В уравнениях, кроме механических движений, учтены электромагнитные процессы, протекающие в ЭМУ и ЭММ. Решения этой системы дифференциальных уравнений являются стандартными.

Была выведена зависимость поперечных колебаний заготовки и

шлифовального круга от параметров КЭМУ. Для этого рассматривался частный случай движения системы «заготовка-шлифовальный круг - КЭМУ», т.к. решение системы из 10 дифференциальных уравнений значительно усложняет поставленную задачу. Поэтому было сделано следующее допущение: шлифовальный круг находится посередине длины заготовки при формообразовании ее поверхности. Система дифференциальных уравнений была немного упрощена и решена методом комплексных амплитуд.

Полученная зависимость поперечных колебаний заготовки и шлифовального круга от параметров КЭМУ (условие минимального наследования деталью погрешностей формы) была проверена при решении неупрощенной системы дифференциальных уравнений на персональном компьютере. Результаты подтвердили правильность ранее сделанных выводов: применение ЭМУ совместно с ЭММ способствуют повышению точности формы поверхности заготовки в 1,7 раза при однократном шлифовании по сравнению с точностью формы, полученной при использовании одних ЭММ. Кроме того, при решении системы уравнений были найдены необходимые для повышения точности формы условия шлифования.

Третий раздел диссертации посвящен расчету и проектированию ЭМУ с целью встраивания его в цепь круговой подачи круглошлифовального станка.

Рабочие параметры ЭМУ рассчитывались из условия максимального снижения наследования деталью погрешностей формы поверхности, выведенного во втором разделе. Из этого условия и берутся исходные данные для расчета: диаметр и масса подвижных частей ЭМУ, диапазон изменения массы заготовки, переменный характер отклонений формы обрабатываемой поверхности. Т.к. эти исходные данные влияют на значение круговой жесткости ЭМУ, то изменение их приводит к созданию ЭМУ с регулируемой жесткостью.

Весь расчет ЭМУ выполняется в три этапа.

На первом этапе должна быть выбрана принципиальная схема исходного варианта. В качестве первоначального варианта принимается ЭМУ, у которого ведущим звеном является шлицевая втулка, в расточке которой расположена электрическая обмотка, за ведомое звено принят шлицевый валик.

На втором этапе расчета за исходные данные для определения параметров ЭМУ принимаются крутящий электромагнитный мо-

мент, равный максимальному значению крутящего момента на заготовке от составляющей силы резания F_z , и магнитодвижущая сила, приходящаяся на воздушный рабочий зазор. Предварительно рассчитываются такие параметры ЭМУ как магнитная проводимость рабочего воздушного зазора между ведущим и ведомым звеньями, величины минимальной и максимальной жесткостей ЭМУ. Определяются геометрические параметры ведущего и ведомого звеньев. Магнитная проводимость рабочего воздушного зазора для упрощения расчетов рабочих параметров ЭМУ была выражена через геометрические параметры ведущего и ведомого звеньев. Это приводит к упрощению определения крутящего электромагнитного момента ЭМУ и его жесткости при любом угловом относительном смещении зубьев ведущего и ведомого звеньев.

Т.к. электромагнитные и геометрические параметры ЭМУ взаимно влияют друг на друга, необходим третий этап расчета (проверочный). По найденным значениям параметров ЭМУ определяются величины электромагнитного крутящего момента и жесткости. Для этого проделан расчет магнитной цепи ЭМУ. Величина электромагнитного крутящего момента должна оставаться постоянной во всем диапазоне изменения жесткости, зависящем от изменения массы заготовки и переменного характера отклонений формы поверхности обрабатываемых заготовок. Если это условие не выполняется, то необходимо вернуться ко второму этапу проектирования и скорректировать параметры ЭМУ.

Если диапазон изменения жесткости ЭМУ значителен, то возможно применение второго электромагнитного устройства с другими значениями его параметров или возможен вариант ЭМУ с применением одного шлицевого валика (ведомое звено) и нескольких шлицевых втулок (ведущих звеньев).

Материал ведущего и ведомого звеньев - сталь 10 ГОСТ 1050-88 или сталь 20 ГОСТ 1050-88, рекомендуемый действительный воздушный рабочий зазор 0,1...0,3мм.

Четвертый раздел диссертации посвящен экспериментальной проверке правильности выводов, сделанных в предыдущих разделах: степень адекватности выбранной математической модели процесса шлифования валов в заданных условиях реальному процессу шлифования, составленной на ее основе динамики процесса формообразования поверхности, методики расчета параметров КЭМУ.

Была составлена методика эксперимента. Экспериментальная установка представляла собой сочетание ЭМУ с ЭММ, смонтированных на круглошлифовальном станке нормальной точности ЗБ12. Станок устанавливался на виброопоры и выверялся с точностью 0,02 мм/м, чтобы уменьшить влияние работы других станков на него. Для высокоточной обработки применялся шлифовальный круг марки ПП 300х40х127 24А12СМ16К5, смазочно-охлаждающая жидкость - Аквол-2. Исследования проводились в лабораторных условиях. Источники питания обмоток КЭМУ - выпрямители постоянного тока ИЭПП-1 со стабилизированным напряжением 12В. Реостаты, последовательно включенные с обмотками, регулировали силы тока в обмотках, амперметры постоянного тока ЛМ-1 класса 0,2 с ценой деления 0,01 А, шкала до 2А контролировали силы тока в обмотках.

Т.к. при использовании одних ЭММ их жесткость настраивается на уменьшение отклонений формы поверхности заготовки, то при этом в результате шлифования наследуются детали погрешности формы центровых отверстий. Для доказательства того, что применение КЭМУ позволяет сразу максимально уменьшить погрешности формы поверхности за счет одновременной настройки жесткости ЭМУ на уменьшение наследственных погрешностей формы заготовки и настройки жесткости ЭММ на уменьшение наследования детали отклонений формы центровых отверстий, проводилось сравнение двух вариантов обработки: с использованием КЭМУ; с применением одних ЭММ.

При проведении эксперимента отбирались заготовки, обработанные на одних и тех же станках с одними и теми же режимами резания для объективной оценки. Заготовки - жесткие валы, изготовленные из стали 45 с диаметром шлифуемой поверхности 15 мм, длиной 100 мм, с исходной шероховатостью $Ra=1,26$ мкм, твердостью поверхности HRC 35...40. Правка центровых отверстий производится на токарном станке повышенной точности модели 1И611П твердосплавными центрами. Для заготовок, участвующих в эксперименте, определяющем влияние переменной жесткости опор заготовки на наследование отклонений ее формы поверхности в поперечном сечении, правка центровых отверстий не проводилась.

Правка круга проводилась после каждой двух обработанных деталей с режимами, рекомендуемыми при высокоточном шлифовании.

Для проведения экспериментов были выбраны следующие режи-

мы шлифования: окружная скорость вращения заготовки $V_0=6$ м/мин и $V_0=12$ м/мин; продольная подача $S_{пр.}=6$ мм/об и $S_{пр.}=12$ мм/об; глубина резания $t_1=0,004$ мм и $t_1=0,008$ мм; скорость вращения шлифовального круга $V_1=30$ м/с. Однопроходное шлифование.

При исследовании влияния погрешностей формы поверхности заготовок на точность формы деталей отклонения от круглости формы заготовок в поперечном сечении не превышали $5...8$ мкм, центровых отверстий $0,6...0,8$ мкм.

При исследовании влияния погрешностей формы поверхности центровых отверстий на точность обработки отклонения формы поверхности заготовок в поперечном сечении были в пределах $0,4...0,6$ мкм, центровых отверстий $4,3...4,6$ мкм.

При исследовании влияния погрешностей формы поверхностей заготовок и центровых отверстий на точность формы деталей отклонения формы поверхности заготовок находились в пределах $2,8...3,2$ мкм, центровых отверстий в пределах $4,3...4,6$ мкм.

Отклонения от круглости формы поверхности заготовок и центровых отверстий контролировались с помощью кругло-мера модели «Talyrond».

Шероховатость поверхности заготовок определялась с помощью «калибра 201». В результате экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Проведенные эксперименты подтвердили теоретические выводы, сделанные во втором разделе.

2. Применение КЭМУ уменьшает наследование деталью отклонений от круглости формы поверхности обрабатываемой заготовки в $1,7...2$ раза по сравнению с использованием при обработке одних ЭММ при однопроходном шлифовании.

3. Применение КЭМУ уменьшает наследование деталью погрешностей формы поверхности центровых отверстий заготовки в $1,7...2$ раза при однопроходном шлифовании.

4. Применение КЭМУ уменьшает при однопроходном шлифовании одновременное наследование деталью погрешностей формы поверхностей обрабатываемой заготовки и ее центровых отверстий в $1,7...2$ раза. Производительность обработки повышается в 2 раза по сравнению с использованием при шлифовании одних ЭММ.

5. Шероховатость поверхности при использовании КЭМУ остается на том же уровне, что и при применении одних ЭММ.

6. Получение деталей с отклонениями от круглости формы поверхности в пределах $0,1...0,3$ мкм на станках нормальной точности при однократном шлифовании с режимами резания, соответствующими рекомендуемым при высокоточной обработке, глубина резания при этом $0,004$ мм.

В пятом разделе диссертации приведены практические рекомендации по расчету параметров ЭМУ и эксплуатации КЭМУ, определена экономическая эффективность применения КЭМУ в АООТ «Калужский приборостроительный завод «Тайфун», сделаны общие выводы.

В результате экспериментальных исследований было выявлено, что для эффективной работы при расчете параметров ЭМУ необходимо придерживаться последовательности их определения, изложенной в третьем разделе. При этом большое значение имеет выбор величины рабочего воздушного зазора δ_0 между ведущим и ведомым звеньями (рис. 1). Эта величина должна назначаться из диапазона значений $0,1...0,3$ мм, отклонение от соосности ведущего и ведомого звеньев должно быть в пределах $(0,01...0,015) \cdot \delta_0$. В качестве материала для этих звеньев необходимо выбрать сталь 10 ГОСТ 1050-88 или сталь 20 ГОСТ 1050-88 из-за низкой стоимости и очень высокой магнитной проницаемости.

Одно из устройств (ЭМУ) следует настраивать на снижение наследования исходных отклонений формы поверхности обрабатываемой заготовки, другое устройство (ЭММ) в то же время настраивается на уменьшение наследования отклонений формы поверхности центровых отверстий. Это приводит к повышению производительности в 2 раза за счет сокращения числа проходов шлифовального круга по сравнению с обработкой с использованием одних ЭММ. Приведены этапы настройки КЭМУ.

Рассчитана экономическая эффективность применения КЭМУ в АООТ «Калужский приборостроительный завод «Тайфун» по методике, помещенной в приложении 1. Методика разработана экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМСом). Шлифование деталей производилось на универсальном круглошлифовальном станке модели 3Б12. Обрабатывались цилиндрические наружные поверхности деталей типа валов, отклонение от круглости составляло до обработки $3... 3,5$ мкм, шероховатость поверхности $Ra = 1,5...2,5$ мкм. Базовый вариант пред-

ставлял станок модели ЗБ12 с применением ЭММ в приводе продольной подачи станка. В качестве нового варианта - станок модели ЗБ12 с встраиванием ЭМУ в привод передачи вращения обрабатываемой заготовки и ЭММ в привод продольной подачи. В результате отклонения от круглости обработанной поверхности уменьшились в 1,2...1,3 раза, шероховатость осталась на том же уровне ($R_a = 0,06...0,08$ мкм).

Условный годовой экономический эффект от внедрения составил 234 640 руб. (в ценах после деноминации).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Погрешности формы в поперечном сечении наследуются деталью при высокоточном шлифовании из-за погрешностей исходной формы заготовки и отклонений формы поверхности ее центровых отверстий.

2. Получение на прецизионных станках деталей типа валов с долемикрометрическими отклонениями формы поверхности является проблемным.

3. Для обеспечения долемикрометрической точности формы поверхности валов , вне термостатированного помещения , необходимо оснащение станков (нормальной точности) устройством типа КЭМУ.

4. Основные параметры устройства должны рассчитываться по формулам раздела 3.

5. Настройка КЭМУ должна производиться на основе определения чисел волн на поверхностях заготовок и их центровых отверстий и при использовании рекомендуемых практикой прецизионного шлифования режимов резания.

6. Применение КЭМУ обеспечивает снижение погрешностей формы поверхности заготовок в 3,6...5,2 раза по сравнению с применением постоянных подач.

7. Экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы , сделанные в разделе 2.

8. Разработанное устройство рекомендуется для предприятий с серийным и массовым производствами высокоточных деталей типа валов.

9. Условный экономический эффект от внедрения КЭМУ на АООТ «Калужский приборостроительный завод «Тайфун» составил 234 640 руб. (в ценах после деноминации).

Основные результаты диссертации представлены в следующих работах:

1. Араличев Л.Н. , Соколова И.Д. Анализ процесса формообразования поверхности высокоточных валов при применении неравномерных круговой и продольной подач // 165 лет МГТУ им. Н.Э. Баумана: Тез. докл. научн.-техн. конф. - Калуга, 1995.-С.140.

2. Араличев Л.Н., Соколова И.Д. Построение математической модели процесса формообразования поверхности при круглом шлифовании в условиях неравномерных круговой и продольной подач // 165 лет МГТУ им. Н.Э. Баумана: Тез. докл. научн.-техн. конф. - Калуга, 1995.- С. 141.

3. Араличев Л.Н., Соколова И.Д. Расчет крутящего момента электромагнитного устройства привода неравномерного вращения заготовки круглошлифовального станка // Прогрессивные технологии и машины: Тез. докл. научн.-техн. конф. - Калуга, 1994.- С.23.

4. Араличев Л.Н., Соколова И.Д. Шлифование высокоточных валов с нежесткими приводами круговой и продольной подач // Прогрессивные технологии и машины: Тез. докл. научн.-техн. конф. - Калуга, 1994.- С.24.

5. Араличев Л.Н., Соколова И.Д. Электромагнитное устройство привода неравномерного вращения заготовки круглошлифовального станка // Прогрессивные технологии и машины: Тез. докл. научн.-техн. конф. - Калуга, 1994.- С.25.