

05.02.08

746

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

Контрольный
экземпляр

На правах рукописи

МОЖАЙЦЕВ Лев Николаевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ХОНИНГОВАНИЯ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Автореф.
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1980

ЧПИ

Работа выполнена на кафедре "Автоматизация механосборочного производства" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор Тверской М.М.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Фрагин И.Е.,
кандидат технических наук,
доцент Шамин В.Ю.

Ведущее предприятие - Челябинский тракторный завод им. В.И.Ленина.

Защита диссертации состоится "24 декабря 1980 г.,
в 15.00, в аудитории 244 на заседании специализированного совета
К.053.13.01 по присуждению ученой степени кандидата технических
наук в Челябинском политехническом институте им. Ленинского
комсомола (454044, Челябинск-44, проспект им. В.И.Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " " ноября 1980г.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные
печатью, просим направлять по указанному адресу.

Ученый секретарь
специализированного совета



Меньшаков В.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

ЗОХ

Актуальность темы. При производстве деталей топливной аппаратуре дизельных двигателей, гидравлической и пневматической аппаратуры, наиболее сложной и трудоемкой является окончательная обработка высокоточных глубоких отверстий малого (6...12 мм) диаметра. В настоящее время заданная точность геометрической формы и размеров прецизионных отверстий достигается за счет проведения после термообработки нескольких (до 4...5) операций. При этом наиболее широко используются процессы внутреннего шлифования, алмазного хонингования и абразивной притирки, производительность которых резко снижается с увеличением требований по точности. Повышение эффективности обработки прецизионных отверстий возможно за счет совершенствования этих процессов или применения принципиально новых, которые по производительности выше используемых.

Особое место среди перспективных направлений повышения производительности труда в металлообрабатывающей промышленности занимают комбинированные процессы обработки, к которым относятся электрохимическое хонингование (ЭХХ) и электрохимическая притирка. Эти процессы обладают рядом достоинств, наиболее важным из которых является высокая производительность при низких нагрузках на инструмент, что при конструктивном ограничении его жесткости может служить предпосылкой повышения точности обработки. Специфика рассматриваемых деталей (малый диаметр отверстий, их относительно большая глубина, высокая точность формы) требует для практического внедрения в производство электрохимической абразивной обработки тщательного исследования ее технологических особенностей. Для осуществления новых процессов необходима разработка автоматизированного оборудования и специальной оснастки.

Цель работы. Повышение производительности и точности обработки прецизионных глубоких отверстий малого диаметра на основе использования процессов электрохимической абразивной обработки.

Основные задачи. Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Теоретическое и экспериментальное исследование электрохимической абразивной обработки прецизионных отверстий с выявлением основных факторов, влияющих на производительность и точность процесса.

2. Разработка математической модели процесса, позволяющей на стадии проектирования выбирать рациональные механические и электрохимические параметры режима обработки.

3. Разработка и анализ систем регулирования, обеспечивающих автоматическое управление процессом электрохимической абразивной обработки.

4. Экспериментальное исследование точности обработки. Создание системы контроля точности диаметрального размера. Определение места электрохимической абразивной обработки в технологическом процессе окончательной обработки прецизионных отверстий малого диаметра.

Научная новизна. Доказана возможность получения высокой точности формы (2...3 мкм) глубоких отверстий малого диаметра при электрохимической абразивной обработке с односторонней прокачкой электролита.

Разработана методика расчета электродной части инструмента с учетом его возвратно-поступательного движения и изменения электропроводности электролита в длинном зазоре.

Предложен численный метод определения контактных давлений на различных участках обрабатываемой поверхности в процессе обработки при известной исходной форме отверстия.

Построена математическая модель процесса электрохимической абразивной обработки отверстий, позволяющая определять рациональные режимы обработки и производительность процесса. На основании полученной модели разработана методика определения закона изменения крутящего момента в процессе обработки в зависимости от исходной формы отверстия в заготовке.

Произведен анализ систем автоматического регулирования крутящего момента, позволяющих автоматизировать процесс обработки.

Теоретически обоснован новый косвенный метод активного контроля диаметрального размера отверстия с компенсацией износа инструмента.

Практическая полезность. На основе проведенных исследований даны научно обоснованные технологические рекомендации по использованию прогрессивного метода электрохимической абразивной обработки прецизионных глубоких отверстий малого диаметра.

Установлена степень влияния на точность и производительность процесса контактного давления между инструментом и деталью. Найдены значения коэффициента трения-царапания, позволяющие установить связь между крутящим моментом и средним значением контактного давления.

Обоснована необходимость автоматического регулирования процесса электрохимической абразивной обработки. Создана автоматическая головка для доводки отверстий, позволяющая вести обработку со стабилизированным крутящим моментом. Головка может быть использована для электрохимической абразивной обработки, алмазного хонингования и притирки отверстий малого диаметра.

Предложено устройство косвенного активного контроля диаметрального размера при хонинговании отверстий. Конструкция устройства защищена авторским свидетельством.

Разработанная математическая модель процесса может быть использована для выбора оптимальных параметров режима обработки на стадии проектирования технологического процесса.

Реализация работы в промышленности. Результаты исследований позволили внедрить процесс электрохимического хонингования во втулках плунжера топливных насосов на Челябинском тракторном заводе им. В.И.Ленина. При этом были спроектированы и изготовлены узлы для модернизации внутридводочных и хонинговальных станков: специальные приспособления, система прокачки электролита, система подачи технологического тока в рабочую позицию, система контроля крутящего момента. Разработана конструкция и технология изготовления инструментов для электрохимической абразивной обработки отверстий. Внедрение процесса позволило снизить трудоемкость и сократить число операций окончательной обработки прецизионных отверстий. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения процесса составил 90500 руб.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации доложены и обсуждены:

1. На научно-техническом совещании по повышению точности и надежности станков путем применения адаптивных корректирующих систем, Ленинград, 1970.
2. На научно-техническом семинаре "Развитие адаптивного управления процессами изготовления изделий в машиностроении", Москва, 1979.
3. На ежегодных научно-технических конференциях в Челябинском политехническом институте им.Ленинского комсомола в 1970-1980 гг.

Публикации. Основное содержание диссертации стражено в 16 опубликованных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложения, изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков, 14 таблиц. В списке использованной литературы содержится 182 наименования.

СУЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В качестве предварительных операций финишной обработки прецизионных отверстий с исходной точностью в пределах 0,05 мм применяется внутреннее шлифование, алмазное хонингование, черновая притирка, электроискровая обработка.

Большую роль в разработке этих процессов, автоматизации производства и совершенствовании технологии обработки прецизионных отверстий сыграли работы А.И.Павлючку, И.Е.Фрагина, И.Х.Чеповецкого, Г.И.Ланина, В.В.Масловского, Б.Н.Кириллина, Ю.Н.Свиридова, П.Д.Дудко, М.С.Наермана, С.А.Попова, И.В.Гребенщикова, П.А.Ребиндера, Б.Г.Левина и многих других исследователей.

Однако, несмотря на заметные успехи в деле совершенствования процессов окончательной обработки прецизионных отверстий, они имеют низкую производительность, что объясняется необходимостью снижения параметров режима обработки с целью обеспечения высокой точности.

Для повышения производительности в работе предлагается использовать электрохимическую абразивную обработку. Некоторые разновидности такой обработки, например, электрохимическое хонингование, достаточно широко используется в машиностроении. Однако областью их применения является обработка отверстий относительно большого диаметра (свыше 40 мм) сравнительно невысокой точности.

Предварительно было установлено, что процесс электрохимического хонингования обеспечивает большую производительность по сравнению с алмазным хонингованием. При этом силовая нагрузка на инструмент может быть меньше в 5...6 раз. Однако стабильность процесса по точности формы отверстия оказалась очень низкой. В связи с этим были установлены и исследованы основные факторы, влияющие на точность и производительность процесса. В экспериментальных исследованиях процессов, протекающих при электрохимическом хонинговании, проведенных сотрудниками НИИтракторосельхозмаша совместно с лабораторией кинетики электродных процессов Института электрохимии АН СССР было показано, что точность обработки достигается

применением низкого давления хонбрусков на обрабатываемую деталь. Отсюда делается вывод, что съем припуска с целью достижения максимальной точности при электрохимическом хонинговании определяется электрохимическим растворением обрабатываемой поверхности, а роль механического воздействия брусков сводится к депассивации.

Скорость съема припуска q при электрохимической обработке определяется следующим выражением:

$$q = \frac{dz}{dt} = \eta U_{3x} U \chi \frac{1}{z}, \quad (1)$$

где η - процент выхода по току; U_{3x} - объемный электрохимический эквивалент; U - напряжение источника тока; χ - удельная электропроводность электролита; z - величина межэлектродного зазора; t - время.

Так как электролит прокачивается через зазор между электродом-инструментом и деталью с одной стороны, наблюдается изменение электропроводности электролита вдоль зазора. Это изменение, определяемое нагреванием электролита и появлением продуктов электрохимической реакции, описывается следующими соотношениями

$$\left\{ \begin{array}{l} \chi(y) = [e^{\alpha y} (\alpha T_0 + 1) - 0,17 \frac{U \chi_0 \xi}{z^2 V_3} y + (0,08 \frac{U \chi_0 \xi}{z^2 V_3})^2] \chi_0; \\ \alpha = \frac{0,24 U^2 \alpha \chi_0 (\pi D - 26)}{z c \gamma V}; \\ V = V_3 (1 + 0,08 \frac{U \cdot \chi_0 \xi}{z^2 V_3} y), \end{array} \right. \quad (2)$$

где y - расстояние от места входа электролита в деталь до рассматриваемого сечения; α - основание натуральных логарифмов;

α - температурный коэффициент; T_0 - превышение температуры электролита на входе в зазор над табличным значением; χ_0 - табличное значение удельной электропроводности; V_3 - скорость электролита в начале зазора; D - диаметр инструмента - электрода;

b - ширина бруска; c - теплоемкость электролита; γ - плотность электролита.

Например, на детали длиной 58 мм при межэлектродном зазоре 0,5 мм и плотности тока 40 kA/m^2 такое изменение электропроводности приводит к разности съемов припуска у торцов до 15 μm на диаметр за 1,5 мин.

С учетом вращательного и возвратно-поступательного движения

инструмента выражение (2) позволяет рассчитать форму электродной части инструмента с целью компенсации неравномерности электропроводности электролита вдоль зазора. При этом должно выполняться соотношение

$$\chi(y)\tau = \chi_{\min} = \text{const}, \quad (3)$$

где χ_{\min} - минимальная электропроводность в зазоре (на выходе электролита из детали); τ - относительная продолжительность протекания тока, равная отношению времени протекания тока через любую точку в рассматриваемом поперечном сечении детали за один двойной ход инструмента к полному времени двойного хода.

Экспериментально определена зависимость скорости съема при электрохимическом хонинговании от расчетной усредненной величины контактного давления между абразивными брусками и обрабатываемой поверхностью.

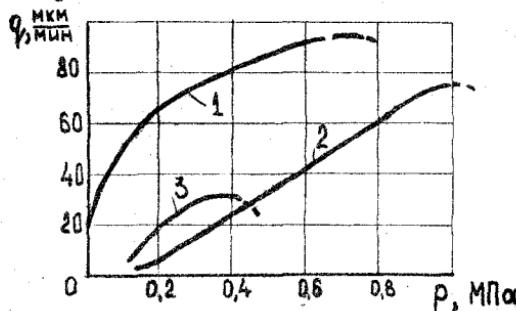


Рис. I. Зависимость скорости съема от контактного давления

Для сравнения показаны зависимости скорости съема от контактного давления при алмазном хонинговании (линия 2) и при абразивной притирке (линия 3).

В результате математической обработки экспериментальных данных получаем выражение для скорости съема при электрохимическом хонинговании:

$$q = \eta u_{ex} (1 + cp^y) \chi U \frac{1}{Z}, \quad (4)$$

где p - величина контактного давления на рассматриваемом участке; C и y - безразмерные коэффициенты.

Следовательно, для определения скорости съема в любой точке необходимо знать распределение давления по поверхности.

Исследования проводили на втулке из стали III-15 с отверстием длиной 47 мм, диаметром 10 мм. Линия 1 (рис. I) соответствует электрохимическому хонингованию брусками на бутакриловой связке с алмазным порошком ACB 100/80 (концентрация 100%) при плотности тока 35 кА/м².

В работе предложен численный метод определения контактного давления по известной форме поверхности отверстия в продольном сечении и величине крутящего момента, характеризующей величину усилий прижима хонбрюсков к обрабатываемой поверхности. Для этого обрабатываемая поверхность аппроксимируется внутренними поверхностями некоторой совокупности колец. Приближение к реальной поверхности будет тем выше, чем меньше перепад радиусов внутренних поверхностей колец.

Для удобства перепад радиусов выбирается одинаковым и равным Δz . Максимальная величина ступенек Δz не должна превышать деформации бутакрилового бруска при контактировании с идеальной цилиндрической поверхностью под действием реальной нагрузки. После достижения первоначального контакта хонбрюска со ступенчатой поверхностью сблизим их на величину Δz . Согласно решению известной инженерной задачи по расчету прессовых посадок при различной длине сопрягаемых деталей:

$$\Delta p_i = \frac{\Delta z E}{2 \alpha h(1-\mu)}, \quad (5)$$

где Δp_i – среднее приращение давления на участке Δy_i , равном высоте кольца и отстоящего от торца, у которого входит электролит, на расстоянии y_i при сближении на Δz ; h – толщина алмазного слоя хонбрюска; E и μ – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона алмазного слоя хонбрюска; α – коэффициент, зависящий от отношения длины загруженного участка к диаметру сопряжения и определяемый по таблицам.

Деформацией детали пренебрегаем, так как ее модуль упругости больше модуля упругости бутакриловой связки на два порядка. Затем производится новое сближение на Δz , снова определяется приращение давления и т.д.

В общем случае при одном сближении на Δz может возникнуть несколько участков контактирования. Усилие, необходимое для суммарного сближения

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta p_i \Delta y_i b, \quad (6)$$

где b – ширина хонбрюска. В процессе решения после каждого сближения проверяется условие

$$P_{\Sigma} > \frac{2M}{k \cdot f \cdot D}, \quad (7)$$

где M - крутящий момент; k - число брусков в хонголовке;
 f - коэффициент трения-царапания; D - диаметр обрабатываемого отверстий.

Если условие (7) выполняется, то прекращается сближение и подсчитывается давление как сумма приращений давлений, действующих только на участке $\Delta \psi_i$. Величина коэффициента трения-царапания при электрохимическом хонинговании определялась на специальной установке. Диапазон изменения этой величины при различных режимах составляет 0,53...0,58. Используя выражение (4) и численный метод определения контактного давления, можно построить алгоритмическую модель процесса электрохимического хонингования предизионных отверстий, учитывающую исправление формы в продольном сечении.

Блок-схема алгоритмической модели приведена на рис.2. Эта модель позволяет прогнозировать точностные параметры процесса при заданном режиме обработки или определять рациональные параметры режима обработки для достижения заданной точности. С помощью алгоритмической модели можно разработать программы управления крутящим моментом, обеспечивающие достижение заданной точности в минимальное время.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА

Обеспечение высокой точности при электрохимической абразивной обработке невозможно без поддерживания контактного давления на заданном уровне, так как процесс не обладает внутренней устойчивостью из-за непостоянства гидродинамического режима, неравномерности абразивной способности брусков по мере их износа и других причин. Следовательно, необходимо автоматическое регулирование процесса.

В качестве параметра регулирования выбран крутящий момент, как наиболее удобный для измерения и довольно точно отражающий значение усредненного контактного давления.

В выпускаемых промышленностью внутридоводочных и хонинговальных станках для автоматического разжима инструмента применяются весьма сложные механизмы дозированной подачи, имеющие длинную кинематическую цепь и большое число гидравлических узлов. Попытки обеспечения непрерывного движения разжима инструмента, как правило, связаны с применением дополнительного электродвигателя и узлов, обеспечивающих переключение с ускоренного разжима на рабочий.

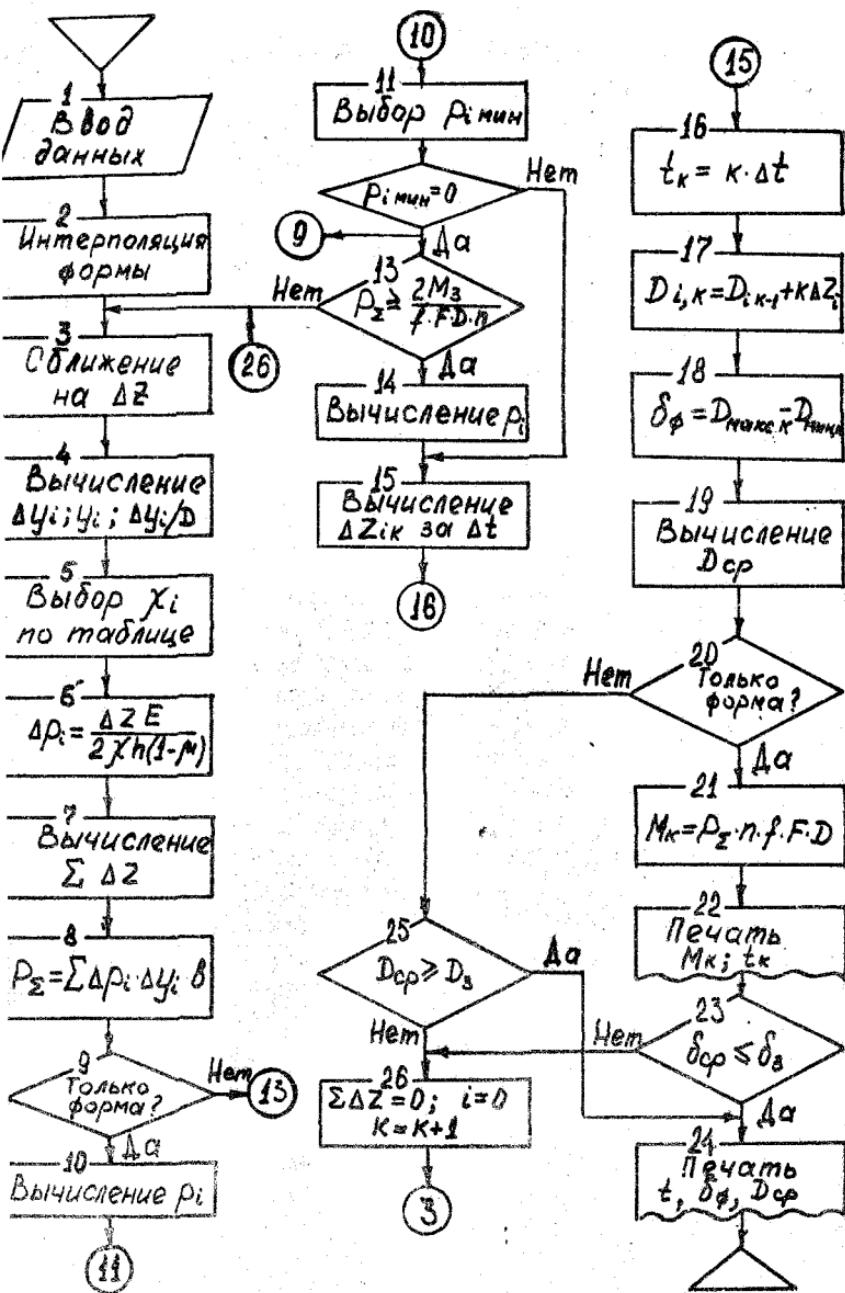


Рис.2. Блок-схема математической модели ЭХХ

Нами была спроектирована и изготовлена автоматическая головка для доводки прецизионных отверстий [12]. В основу конструкции головки положен балансирный динамометр, аналогичный разработанному в Челябинском политехническом институте для сверлильной головки с автоматическим регулированием подачи. Балансирный динамометр, выполненный в виде планетарного редуктора, позволяет с помощью встроенного в головку механизма разжима инструмента и устройства задания крутящего момента поддерживать последний на заданном уровне в процессе обработки.

Автоматическая головка проста по конструкции и обеспечивает высокую точность стабилизации момента. Она может быть использована для электрохимической абразивной обработки, алмазного хонингования и притирки прецизионных отверстий. Испытания показали, что автоматическая головка может быть принята за основу создания специализированного автоматизированного станка для обработки отверстий разжимным инструментом.

Для целей исследования была проведена также модернизация внутридоводочного станка ОФ-26, который оснащался системой автоматического регулирования крутящего момента. Обрабатываемая деталь закрепляется на поворотном столе динамометрического приспособления. Сигнал с датчика приспособления поступает на серийный малогабаритный бесконтактный регулятор БРМ-II, представляющий трехкаскадный усилитель. Разжим инструмента осуществляется управляемым двухфазным асинхронным электродвигателем. Бесконтактный регулятор обеспечивает увеличение скорости вращения двигателя по мере увеличения сигнала рассогласования и наоборот. Это существенно улучшает динамические характеристики системы. Преимуществом данной системы является сравнительно короткая кинематическая цепь механизма разжима инструмента, что повышает точность регулирования. Непрерывность разжима, как в этой, так и в предыдущей системе, обеспечивает плавность работы и способствует повышению стойкости инструментов.

В последнее время широкое распространение для окончательной обработки отверстий малого диаметра получили внутридоводочные станки 3820Д и хонинговальные станки 3820, имеющие дозированную систему разжима инструмента. На станке 3820Д применяются динамометрические приспособления, которые могут поворачиваться во время обработки и через конечные выключатели выдавать команды на

переход с ускоренного разжима инструмента на рабочий и на прекращение разжима при недопустимом возрастании крутящего момента. С целью повышения чувствительности динамометрических приспособлений при использовании этих станков для электрохимической абразивной обработки два контактных конечных выключателя заменялись на один бесконтактный типа БВК-24. Однако испытания показали, что наличие на станке двухпозиционных столов весьма затрудняет обеспечение стабильности работы системы регулирования крутящего момента при смене приспособлений, что приводит к резкому снижению точности обработки. Объясняется это погрешностями изготовления приспособлений, неодинаковостью и изменением в процессе эксплуатации характеристик упругих элементов, неточностью позиционирования. В связи с этим, была предложена система регулирования крутящего момента по току электродвигателя вращения шпинделя, аналогичная применяемой на хонинговальном станке 3820. Для повышения ее чувствительности была проведена замена электродвигателя вращения шпинделя на электродвигатель меньшей мощности и увеличен общий коэффициент усиления системы автоматического управления с контролем по току. При использовании этой системы упростилась настройка на заданный момент при смене режима обработки.

Поскольку существующая на станке дозированная система разжима инструмента способна вызывать автоколебания в системе регулирования крутящего момента, в устройстве контроля момента по току электродвигателя вращения шпинделя предусмотрена задержка сигнала перегрузки на время, несколько большее времени одного двойного хода шпиндельной головки.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ, АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЙ

Рассмотренные ранее мероприятия (компенсация неравномерности распределения тока вдоль зазора, выбор параметров режима обработки, автоматическое регулирование) направлены на повышение точности формы отверстий. Однако важной задачей является повышение также точности диаметральных размеров на финишных операциях обработки. Большое поле рассеивания размеров удорожает сборку прецизионных пар, требуя в некоторых случаях даже совместной подгонки, увеличивает незавершенное производство, усложняет организацию обработки отверстий на автоматизированных станках, требует повышенного количества измерительных приборов,

Основным путем повышения точности диаметрального размера на окончательных операциях является введение активного контроля. Прямой активный контроль отверстий диаметром 6...12 мм весьма трудно осуществить из-за условий обработки. Поэтому, наиболее распространены косвенные методы активного контроля.

В разработанном совместно с В.Ф.Начваевым и Ю.Н.Свиридовым устройстве [8] контролируется размер инструмента с помощью кольца-калибра. Основным преимуществом использования устройства является получение диаметральных размеров автоматически, без подналадок со стороны оператора. Точность при электрохимическом хонинговании с использованием данного устройства обеспечивается в пределах 0,02 мм. Однако при этом необходимо обеспечивать хорошую герметизацию контактов устройства либо применять специальную электрическую схему, реагирующую на изменение сопротивления датчика при размыкании контактов.

Весьма эффективен метод контроля размеров по положению разжимного штока в процессе обработки, заложенный в конструкцию хонингового станка 3820 и легко воспроизводимый на станке 3820Д. При электрохимической абразивной обработке наблюдается характерная нестабильность износа инструмента, что не позволяет использовать систему коррекции, предусмотренную на станке. Высокая точность в этом случае обеспечивается принудительной подналадкой по результатам измерения 7...10-ой детали.

Для случая повышенного износа инструмента был разработан метод контроля по реле времени с автоматической компенсацией износа. При этом используются команды системы контроля крутящего момента. Реле времени настраивается на постоянную величину t_n и включается с момента начала ускоренного разжима инструмента. После соприкосновения инструмента с деталью и срабатывания системы контроля момента происходит переход на рабочий режим, а реле прекращает отсчет времени. После достижения отсчетным устройством разжимного механизма упора начинается коррекция износа инструмента. При этом срабатывает соответствующий конечный выключатель, вновь запускающий реле времени. Остаток времени, отрабатываемый реле, будет зависеть от первоначально отсчитанного промежутка. Чем большее время t_u будет продолжаться ускоренный режим, тем меньший припуск снимется и будет меньшая величина времени коррекции t_k .

Математически для любой i -й детали это выразится так:

$$t_{yi} + t_{ki} = t_n = \text{const}. \quad (8)$$

Для обеспечения точности необходимо согласование скоростей ускоренного разжима q_y , рабочего разжима q_p и износа инструмента q_i .

$$q_y = q_p \left(1 + \frac{q_p}{q_i} \right). \quad (9)$$

Так как на скорость подвода инструмента накладывается ограничение, данный метод неизбежно ведет к снижению производительности. Поэтому целесообразность применения этого метода необходимо рассматривать для каждого конкретного случая.

Для оценки точности электрохимического хонингования премиционных глубоких отверстий проводилась обработка втулок плунжера топливных насосов тракторных дизельных двигателей. Количество деталей в каждом испытании было не менее 200 штук. Так как на появление бочкообразности и седлообразности влияют одинаковые параметры режима обработки, эти виды отклонения формы объединились в одну группу "объединенной бочкообразности". При этом собственная бочкообразность полагалась положительной величиной, а седлообразность - отрицательной. Конусообразности также придавалось направление: вершина конуса должна быть со стороны большего торца.

При электрохимическом хонинговании деталей, прошедших операцию термообработки, при снятии среднего припуска 0,08 мм получилось поле рассеивания диаметрального размера 0,023 мм, колебание "объединенной бочкообразности" $-1\dots+3$ мкм, колебание направленной конусообразности $-2\dots+4$ мкм, отклонение от прямолинейности оси отверстия в пределах 3 мкм, шероховатость поверхности

$$R_a = 0,1 \text{ мкм}.$$

В работе были проведены необходимые экспериментальные исследования для выбора параметров режима обработки.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. В качестве предварительной операции технологического процесса финишной обработки премиционных глубоких отверстий малого диаметра целесообразно применять электрохимическое хонингование, которое позволяет снимать значительные припуски (до 0,2 мм на диаметр), по сравнению с алмазным хонингованием, обеспечивает

0330274

более интенсивное исправление погрешностей формы, способствует значительному снижению силовых факторов, действующих в процессе обработки.

2. Скорость съема при электрохимическом хонинговании для выбранных силовых нагрузок определяется скоростью электрохимического растворения. Роль абразивного инструмента при этом сводится к депассивации обрабатываемой поверхности путем механического воздействия и к разрушению образующегося слоя окислов. На скорость съема и интенсивность исправления погрешностей формы наибольшее влияние оказывает контактное давление между инструментом и деталью.

3. Окончательно достижимая точность геометрической формы в продольном сечении связана с неравномерностью процесса электрохимического растворения по образующей цилиндра из-за неравномерности распределения технологического тока вдоль зазора. Эта неравномерность может быть компенсирована выполнением электродной части инструмента соответствующей формы.

4. Разработанная математическая модель ЭХХ позволяет прогнозировать оптимальные режимы обработки на стадии проектирования технологического процесса и определить закон (программу) изменения крутящего момента в процессе обработки для обеспечения наиболее интенсивного исправления погрешностей исходной формы отверстия.

5. Практическое осуществление электрохимикомеханической обработки стало возможным благодаря оснащению станков системами автоматического регулирования по силовому параметру, характеризующему контактное давление. Таким параметром целесообразно выбрать крутящий момент.

6. Анализ разработанных систем регулирования позволяет рекомендовать для проектирования нового оборудования автоматическую головку, обеспечивающую стабилизацию заданного крутящего момента, или станки с непрерывным разжимом инструмента с управляемым электроприводом.

7. Для обеспечения заданной точности диаметрального размера необходимо создание систем автоматического контроля. Наиболее приемлемым для ЭХХ является косвенный контроль с компенсацией износа инструмента.

8. Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по выбору параметров режима обработки при ЭХХ, конструкцию и технологию изготовления инструмента и провести модернизацию существующего оборудования.

По теме диссертации опубликованы следующие работы автора:

1. Выбор силового параметра для осуществления автоматического регулирования процесса доводки отверстий. В сб. "Материалы XIII научно-технической конференции института". Челябинск, ЧПИ, 1970.

2. Оптимизация процесса формообразования при притирке (доводке) прецизионных отверстий. Материалы научно-технического совещания. Повышение точности и надежности металлорежущих станков путем применения адаптивных корректирующих систем". Л. ЛДНТИ, 1970 (Свиридов Ю.Н., Начвай В.Ф.) *.

3. Автоматическое управление раздачей притира при обработке отверстий. В сб. научн. трудов № 79. Челябинск, ЧПИ, 1970 (Свиридов Ю.Н., Начвай В.Ф.).

4. Электрохимическая доводка отверстий малого диаметра алмазным инструментом. "Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов". М. НИИМАШ, 1971, вып.7 (Свиридов Ю.Н., Начвай В.Ф.).

5. Автоматизация процесса электрохимической доводки отверстий. Тезисы докладов научно-технической конференции "Прогрессивные методы и инструменты для обработки резанием и пластическим деформированием". Челябинск, ЧПИ, 1971.

6. Конструкция и технология изготовления инструмента для электрохимикомеханической доводки точных отверстий. В сб. научн. трудов № II4. Челябинск, ЧПИ, 1972.

7. Исследование процесса электрохимикомеханической обработки малого диаметра. В сб. научн. трудов № II4. Челябинск, ЧПИ, 1972. (Начвай В.Ф., Свиридов Ю.Н.).

8. Устройство для измерения диаметральных размеров отверстий в процессе обработки жестким разжимным инструментом. Авторское свидетельство № 359141 "Бюллетень изобретений и товарных знаков", 1972 № 35 (Начвай В.Ф., Свиридов Ю.Н.).

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы

9. О распределении тока в межэлектродном зазоре при электрохимикомеханической доводке глубоких отверстий малого диаметра. В сб. научн. трудов № 145. Челябинск, ЧПИ, 1974.
10. Повышение точности обработки прецизионных отверстий в условиях автоматизированного массового производства. В сб. научн. трудов № 145. Челябинск, ЧПИ, 1974 (Свиридов Ю.Н., Начвай В.Ф.).
11. Сверлильная головка с автоматическим регулированием подачи. Авторское свидетельство № 475223 "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки". 1975, № 24 (Тверской М.М., Закамалдин В.И., Клепиков Ю.П.).
12. Головка для доводки прецизионных отверстий. В сб. научн. трудов № 178. Челябинск, ЧПИ, 1976 (Клепиков Ю.П., Тверской М.М.).
13. Исправление конусообразности отверстий в процессе электрохимического хонингования. В сб. научн. трудов № 178. Челябинск, ЧПИ, 1976.
14. Расчет инструмента для электрохимического хонингования. В сб. научн. трудов № 211. Челябинск, ЧПИ, 1978.
15. Плавающее приспособление для электрохимического хонингования отверстий и прецизионных деталях. В сб. научн. трудов № 211. Челябинск, ЧПИ, 1978 (Начвай В.Ф.).
16. Расчет электродной части инструмента для электрохимического хонингования прецизионных отверстий малого диаметра. В сб. "Повышение надежности технологических процессов изготовления изделий машиностроения". Кемерово, КузПИ, 1979.