

11496570

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ  
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени государственный  
технический университет имени Н.Э.Баумана

---

На правах рукописи  
УДК 621.757

БАБАСКИН Андрей Геннадьевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ СОЕДИНЕНИИ ПРИ СБОРКЕ

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

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

Научный руководитель

- кандидат технических наук  
доцент СЕРЕНКО В.А.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук  
профессор ЧЕРНЯНСКИЙ П.М.

- кандидат технических наук  
зав.отделом ПУСТЫРЕВ В.Л.

Ведущее предприятие

- МСПО "Красный Пролетарий"  
им.Ефремова, г.Москва

Защита состоится "15" января 1990 г. на заседании  
специализированного совета К 053.15.15 в МГТУ им.Н.Э.Баумана  
по адресу: 107005, Москва, 2-ая Бауманская, д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ  
имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв  
печать, просим

ный

Автореферат

Ученый секретарь  
кандидат технических наук  
Д

ОВ

М 486570

Зак. 1243

Тир. 100 экз. Т

Актуальность темы. Сборка - завершающий этап производства, на котором формируются все технические характеристики изделия: надежность, кинематическая точность и т.д. Эти характеристики в значительной мере зависят от того, как взаимодействуют при сборке реальные поверхности ответственных деталей сборочных единиц, что, в свою очередь, будет определяться наличием отклонений формы и положения, в частности отклонения от перпендикулярности этих поверхностей.

В настоящее время возможности сборки в учете, оценке и формировании точностных характеристик изделий ограничены, методы управления точностью взаимного расположения поверхностей деталей при сборке не нашли должного развития и освещения в технической литературе. Отсутствуют методики сборки многозвенных цепей, позволяющих управлять отклонением от перпендикулярности поверхностей ответственных узлов. Вопросы автоматизации сборки высокоточных изделий недостаточно проработаны.

Обеспечение требований к точности узлов достигается на практике за счет увеличения доли доводочных операций, что сопровождается повышением трудоемкости сборки до 35-50% от общей трудоемкости изготовления изделий.

Необходимость повышения точности при одновременном уменьшении трудоемкости сборки определяет актуальность решения данной проблемы.

Цель работы. Обеспечение заданной точности взаимного расположения ответственных поверхностей высокоточных изделий в условиях автоматизированного сборочного модуля на базе разработки новых методов управления отклонениями поверхностей от перпендикулярности при сборке и создания средств для их реализации.

Методы исследования. Поставленные задачи решались путем сочетания теоретических и экспериментальных методов исследования. Для теоретических исследований применялись методы размерного анализа, теории линейной алгебры, теорий контактной жесткости машин и строительной механики, теории вероятностей и математической статистики, основные положения теории рядов.



Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на модельных образцах и реальных изделиях с помощью специально созданных установок и приспособлений с использованием современной измерительной и регистрирующей аппаратуры. Все вычисления выполнялись на мини-ЭВМ модели Искра-1256.

Научная новизна работы заключается в выявлении сущности и особенностей формирования пространственного положения деталей в узле при сборке с учетом реальных отклонений формы их поверхностей. Разработаны аналитический метод определения величины отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей узла при сборке, принципы и методика проведения автоматизированной сборки с ориентацией по реальным отклонениям поверхностей с целью управления отклонением от перпендикулярности.

Практическая ценность. Создана инженерная методика автоматизированной оценки величины отклонения от перпендикулярности поверхностей узла перед сборкой высокоточного изделия по точностным показателям деталей, входящих в это изделие. Она позволяет предложить технологические методы сборки, оптимальные с точки зрения ряда параметров, таких как трудоемкость сборки, жесткость узла и т.д. Для реализации этой методики спроектировано и изготовлено автоматизированное сборочное и измерительное оборудование, состыкованное с вычислительным комплексом на базе мини-ЭВМ. На основании результатов работы предложены рекомендации по управлению отклонением от перпендикулярности поверхностей высокоточных узлов на стадии их проектирования и изготовления.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы переданы для внедрения на машиностроительном предприятии с ожидаемым годовым экономическим эффектом 4 тыс.руб. Положения инженерной методики включены в руководящий технологический регламент Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР РТМ 040-153-87.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научных семинарах кафедры "Комплексная технология автоматизированного производства" в 1981-1989 г.г., Республиканском научно-техническом совещании "Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении", Ижевск, 1981 г., республиканской научно-технической конференции "Повышение эффек-

тивности производства механизацией и автоматизацией механо-сборочных и вспомогательных процессов в машиностроении (с применением промышленных роботов и манипуляторов)", Ташкент, 1983 г., республиканской конференции "Промышленные работы в машиностроении", Киев, 1984 г., Всесоюзном научно-техническом совещании "Совершенствование технологии и повышение качества сборки станков и металлорежущего оборудования", Одесса, 1988 г. Автоматизированный сборочный комплекс экспонировался на выставке МПТУ им. Н.Э.Баумана, посвященной 70-летию Октября, г. Москва, 1987 г.

Публикации. Материал диссертации отражен в 13 публикациях. Получено 5 авторских свидетельств СССР.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы (64 наименований, в том числе 2 иностранных) и приложений. Работа содержит 102 страницы текста, 65 рисунков, 11 таблиц.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы и ее цель, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор и анализ состояния вопросов, связанных с обеспечением точности взаимного положения ответственных поверхностей высокоточных узлов в процессе сборки на примере формирования параметра отклонение от перпендикулярности поверхностей сборочных единиц.

Сообщается, что обеспечение точности взаимного положения поверхностей высокоточного узла при сборке является одной из актуальных проблем машиностроения. На примере ряда типовых конструкций высокоточных сборочных единиц показаны основные точностные требования, предъявляемые к аналогичным узлам, и влияние отклонения от перпендикулярности направляющих и базовых поверхностей этих узлов на их эксплуатационные характеристики, такие как кинематическая точность, жесткость, шум, герметичность и т.д.

Показано, что основное направление по обеспечению точности узла при сборке в настоящее время - это повышение точности составляющих узлы деталей, которая во многих случаях достигает микрометрического уровня. Среди существующих направле-

ний по обеспечению точности узлов механическая обработка, даже высокоточная: притирка, доводка и т.д., не может быть признана единственно верным средством, так как такой подход влечет за собой повышение трудоемкости сборочных операций обычно за счет высококвалифицированного ручного труда. На основе анализа литературных и производственных данных показано, что наиболее перспективным направлением следует считать технологические методы управления качеством узлов при сборке, основанные на глубоком понимании физической сущности процесса сопряжения деталей высокоточных узлов.

Предложена структурная схема формирования отклонения от перпендикулярности направляющей и базовой поверхностей высокоточной сборочной единицы. Показано, что формирование величины отклонения от перпендикулярности происходит в результате сочетания собственных погрешностей сопрягаемых деталей под влиянием различных факторов, вносимых непосредственно в ходе сборочного процесса: последовательности сопряжения, величины прилагаемых сил, условий взаимного сочетания отклонений при соединяемых деталях и т.д.

Одним из путей создания эффективного технологического метода формирования требуемого качества высокоточных узлов может стать дальнейшее совершенствование метода векторного размерного анализа. С этой точки зрения следует расширить понятие отклонение от перпендикулярности, даваемое ГОСТ 24642-81. Для точных деталей, для которых возможна и необходима ориентация при сборке, важен параметр, характеризующий положение относительно системы координат детали плоскости, в которой измерен угол отклонения от перпендикулярности. В таком случае отклонение от перпендикулярности может быть представлено пространственным вектором  $\vec{N}$ , положение которого будет характеризоваться тремя величинами: отклонением  $\delta$ , базовой длиной  $L$ , на которой измерено отклонение, и полярным углом  $\theta$ , характеризующим положение плоскости, в которой произведен замер.

В главе раскрыты тенденции по созданию перспективного сборочного и контрольно-испытательного оборудования. Обосновано широкое внедрение вычислительной техники, ее место и роль в создании гибкого автоматизированного высокоточного сборочного производства.

На основании проведенного анализа, исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие основные задачи:

- разработать математическую модель и метод формирования отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей сборочной единицы при сборке, обеспечивающие количественную оценку качества изготовления высокоточного узла;

- оценить эффективность применения предлагаемого метода торцевой ориентации на конструктивные и эксплуатационные параметры сборочной единицы;

- создать автоматизированный сборочный модуль с измерительным комплексом для обеспечения сборки высокоточных соединений, позволяющий управлять отклонениями взаимного положения поверхностей;

- разработать инженерную методику и алгоритм автоматизированной сборки.

Вторая глава посвящена теоретическим исследованиям процесса формирования величины отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей высокоточных узлов при сборке.

Обобщенная теоретическая модель сборочного процесса, учитывающая собственные погрешности деталей, контактные деформации в стыках и объемные деформации деталей от сборочных сил, может характеризоваться следующим векторным уравнением:

$$\vec{N}_z = f(\vec{N}_1, \vec{N}_2, \dots, \vec{N}_n, \vec{N}_{k1}, \vec{N}_{k2}, \dots, \vec{N}_{ki}, \dots, \vec{N}_{0k1}, \dots, \vec{N}_{0kn}) \quad (I)$$

где  $\vec{N}_1, \dots, \vec{N}_n$  - отклонения расположения ответственных поверхностей деталей, формирующих размерную цепь сборочной единицы;

$\vec{N}_{k1}, \dots, \vec{N}_{ki}$  - отклонения от перпендикулярности, возникающие из-за контактных деформаций по сопрягаемым поверхностям деталей в процессе сборки;  $\vec{N}_{0k1}, \dots, \vec{N}_{0kn}$  - отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей деталей из-за объемных деформаций деталей от сборочных сил;  $n$  - количество деталей сборочной единицы;  $i$  - количество пар сопрягаемых поверхностей. Все составляющие данного уравнения могут быть определены либо непосредственным измерением ( $\vec{N}_1, \dots, \vec{N}_n$ ), либо расчетным методом с помощью известных зависимостей теорий контактной жесткости машин и сопротивления материалов ( $\vec{N}_{ki}, \vec{N}_{0kn}$ ). Учитывая, что сборка представляет собой процесс последовательного набора деталей в размерной цепи, можно считать, что практически каждая из них является базой для следующей присоединяемой детали. Тогда решение теоретической модели (I) можно выполнить для лю-

бой пары деталей.

В общем случае для пары сопрягаемых деталей, когда плоскости расположения векторов не совпадают, будет иметь место пространственная расчетная схема (рис. I).

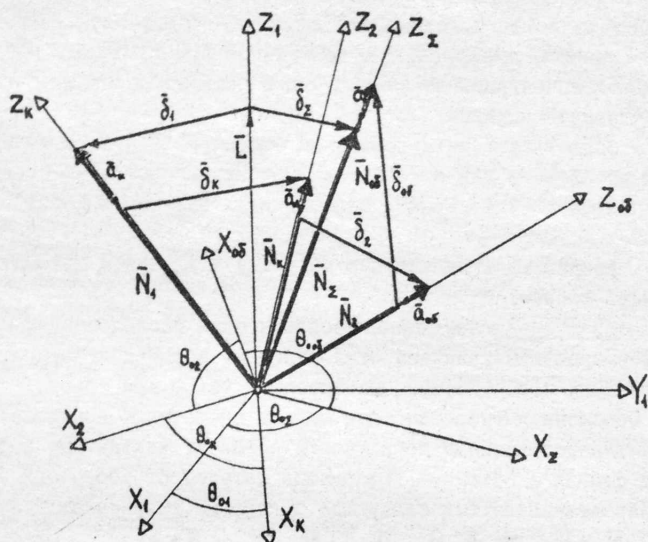


Рис. I. Расчетная схема определения отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей сборочной единицы.

Результирующий вектор  $\bar{N}_i$  может быть определен в соответствии с данной схемой из следующего выражения:

$$\bar{N} = \bar{L} + \bar{\delta}_i = \bar{L} + \bar{\delta}_1 + \bar{a}_1 + \bar{\delta}_2 + \bar{a}_2 + \bar{\delta}_3 + \bar{a}_3 + \bar{\delta}_4 + \bar{a}_4 + \bar{\delta}_5 + \bar{a}_5, \quad (2)$$

где  $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4, \bar{a}_5$  - векторы, которые характеризуют разность длин вектора  $\bar{N}_i$  предыдущего и базовой длины  $\bar{L}_{i-1}$  последующего.

Учитывая практический интерес к величине  $\bar{\delta}$ , как параметру, непосредственно контролируемому в процессе аттестации деталей и всего узла, выражение (2) может быть преобразовано к следующему виду:

$$\bar{\delta}_i = \bar{\delta}_1 + \bar{a}_1 + \bar{\delta}_2 + \bar{a}_2 + \bar{\delta}_3 + \bar{a}_3 + \bar{\delta}_4 + \bar{a}_4 + \bar{\delta}_5 + \bar{a}_5, \quad (3)$$

Все векторы  $\bar{\delta}$  определены каждый в своей собственной системе координат. Причем развороты этих систем относительно базовой

системы характеризуются малыми углами поворота относительно осей  $X$  и  $Y$ , а относительно оси  $Z$  — в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Различные сочетания реальных поверхностей при их взаимном развороте на сборке приведут к образованию множества результирующих векторов  $[\vec{N}]$ , которое сформирует коническую поверхность, в общем случае некруговую. Такое представление процесса формирования величины отклонения от перпендикулярности наглядно показывает недостатки существующей вероятностной технологии сборочных работ. Прогнозирование величины отклонения внутри допуска при таком подходе затруднено.

В данной ситуации использование метода координатных систем с деформируемыми связями затруднено из-за громоздкости системы уравнений, трудоемкости их в обработке. Малые величины углов поворотов координатных систем делают неопределенными многие элементы матриц поворотов.

Используя основные положения теории векторной алгебры, была рассмотрена модель формирования отклонения от перпендикулярности поверхностей узла при сборке. Были получены аналитические решения задач формирования качества сборочной единицы при наличии у деталей идеальных сопрягаемых поверхностей при их произвольном взаимноориентированном положении:

$$\begin{cases} |\vec{\delta}_1| = \sqrt{|\vec{\delta}_1|^2 + |\vec{\delta}_2|^2 - 2|\vec{\delta}_1||\vec{\delta}_2|\cos\beta} \\ \beta = 180^\circ - \theta_1 + \theta_2 + \alpha, \\ \theta_2 = \theta_1 + \theta_0 \mp \alpha \begin{cases} +\alpha & \text{при } \sin\beta > 0 \\ -\alpha & \text{при } \sin\beta < 0 \end{cases}; \quad \alpha = \arccos \frac{|\vec{\delta}_1|^2 + |\vec{\delta}_2|^2 - |\vec{\delta}_1|^2}{2|\vec{\delta}_1||\vec{\delta}_2|} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\theta_0$  — угол начального взаимного разворота координатных систем друг относительно друга, измеренный между осями  $X_1$  и  $X_2$ , градус.

Рассмотрение процесса формирования величины отклонения от перпендикулярности от контактных перемещений в плоском стыке позволило установить, что основными причинами являются либо внецентренное нагружение стыка, либо отличия в характере опорных кривых сопрягаемых поверхностей. Остальные факторы, влияющие на значения контактных перемещений в стыке, приводят к плоскопараллельному перемещению деталей и на отклонение от перпендикулярности действия не отказывают.

Основными причинами, приводящими к внецентренному нагружению, являются неравномерность затяжки резьбовых соединений, единичных или групповых, и существенное отклонение формы или

расположения поверхностей нагружающих деталей. Определение величины отклонения от перпендикулярности поверхностей жестких тел предложено выполнять с помощью следующих зависимостей:

$$|\delta_k| = \frac{k}{J} \sqrt{(\sum P_j y_j)^2 + (\sum P_j x_j)^2}; \quad \theta_k = \arctg \frac{\sum P_j x_j}{\sum P_j y_j} \quad (5)$$

где  $k$  — коэффициент контактной податливости, мкм/МПа;

$J$  — момент инерции площади стыка, на который действуют сборочные силы,  $\text{м}^4$ ;  $P_j$  — осевая сила затяжки каждого  $j$ -ого резьбового элемента, Н;  $x_j, y_j$  — плечи действия  $j$ -ой силы относительно осей  $X$  и  $Y$ , м.

Было установлено, что при моделировании контакта двух реальных поверхностей следует анализировать не профили каждой сопрягаемой поверхности отдельно, а сочетание этих профилей. Для удобства такого анализа предложено рассматривать условный зазор, образуемый записями круглограмм сопрягаемых поверхностей, номинально расположенных в параллельных плоскостях. Форма и величина условного зазора будут эквивалентны форме и величине контактных сил в стыке на начальном этапе сопряжения. Учитывая, что площади и месторасположение анализируемых участков сопрягаемых поверхностей известны и одинаковы, величина опрокидывающего момента контактных сил будет целиком зависеть от сочетаний высот волн на сравниваемых участках.

Поэтому значение вектора  $\delta_k$  для данного случая может быть определено из выражения:

$$\begin{cases} |\delta_k| = \frac{2}{m} \sqrt{(\sum \Delta z_p \cdot \cos(\varphi_p - \theta_k))^2 + (\sum \Delta z_p \cdot \sin(\varphi_p - \theta_k))^2} \\ \theta_k = \arctg \frac{\sum \Delta z_p \cdot \sin(\varphi_p - \theta_k)}{\sum \Delta z_p \cdot \cos(\varphi_p - \theta_k)} \end{cases} \quad (6)$$

где  $\Delta z_p$  — разность текущих значений торцеграмм, мкм;

$\varphi_p$  — значение текущего угла торцеграмм, градус;  $m$  — количество анализируемых точек.

При сопряжении деталей в узле контакт, как правило, происходит по нескольким поверхностям, что при наличии отклонений их расположения приводит к объемным деформациям.

Анализ условий формирования отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей узла при сборке показывает, что на эту величину будут влиять несимметричные (изгибные) объемные деформации. Определение величин этих деформаций для ряда деталей возможно с помощью теории строительной механики. В работе даны таблицы решений с указанием схемы нагружения и

математического определения величины  $\delta$ . Использованы известные решения, приведенные в ряде работ по сопротивлению материалов.

Проведенные теоретические исследования формирования отклонения от перпендикулярности поверхностей узла при сборке позволили разработать аналитический метод торцевой ориентации, методику определения величины отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей и рабочие условия проведения сборки с ориентацией по реальным отклонениям сопрягаемых поверхностей.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям методов обеспечения точности взаимного положения ответственных поверхностей узлов при сборке. Выполнение всего объема исследований тщательно подготавливалось методически.

Учитывая, что определение отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей представляет собой сложный двухэтапный процесс, в работе предложена усовершенствованная методика и оригинальное устройство для ее реализации, защищенное авторским свидетельством СССР. Новизна методики заключается в том, что по ряду замеров сечений аттестуемых поверхностей, сделанных за один установ детали относительно контрольного прибора, определяется сначала положение идеализированных образов поверхностей относительно самих поверхностей, а потом определяется величина отклонения взаимного положения этих образов друг относительно друга. Данный подход дает возможность получить результат, который по величине близок к значениям, определяющим взаимное положение деталей в сборочной единице в процессе сопряжения. Предлагаемая методика имеет аналитический характер. В связи с большим объемом расчетных процедур все вычисления выполнялись с помощью вычислительной техники. Был составлен алгоритм и программа "ОПР" для экспериментального контрольно-измерительного комплекса на базе мини-ЭВМ Искра-1256.

Для выявления влияния метода обработки поверхности на характер ее рельефа анализировались торцевые поверхности, обработанные на плоско- и круглошлифовальных станках. В результате анализа полученной информации установлено, что для поверхностей, обработанных шлифованием, можно одной круглограммой, записанной на возможно большем радиусе аттестуемой поверхности

в зоне сопряжения, охарактеризовать рельеф этой поверхности. Погрешность описания составляла не более 25%. Контрольные замеры шабренных поверхностей показали, что такая замена не будет адекватной из-за отсутствия регулярности рельефа, причиной чего является отсутствие регулярности формообразующих движений.

В качестве объектов для экспериментальных исследований были выбраны соединения корпус - стакан. Корпус представляет собой массивное кольцо, толщина которого такова, чтобы можно было пренебречь деформациями наружных поверхностей от действия максимальных предусмотренных в экспериментах сборочных сил по сравнению с величинами отклонений формы и расположения ответственных поверхностей. В качестве присоединяемых деталей использовались стакан, вал, крышка, кольцо. Обработка деталей производилась по типовой технологии. Материал образцов - сталь 20, 45, ЕХ15. Образцы перед каждой сборкой подвергались тщательной аттестации по параметрам шероховатости сопрягаемых поверхностей, их отклонениям формы и расположения, а также величине абсолютных размеров в характерных сечениях, определенных по соответствующим круглограммам. Шероховатость сопрягаемых поверхностей образцов и реальных деталей была в пределах  $Ra = 0,08 \dots 0,63$  мкм. Величины отклонений формы и расположения ответственных поверхностей были в пределах  $0,0003 \dots 0,015$  мкм.

Сборка с натягом по цилиндрической поверхности осуществлялась с помощью поперечно-прессового метода с охлаждением охватываемой детали. Величины натягов не превышали  $0,010$  мм.

Для изучения влияния сборки типовых резьбовых соединений на процесс формирования отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей собранного узла было спроектировано и изготовлено тарированное нагружающее приспособление, позволяющее контролировать одновременно усилия затяжки вдоль каждого из восьми резьбовых элементов с точностью до 5% от абсолютного значения силы. Величины расчетных усилий затяжки определялись из условия обеспечения давлений в стыках порядка 3-4 МПа.

В результате экспериментальных исследований установлено, что использование метода торцевой ориентации позволяет управлять отклонением от перпендикулярности поверхностей при

сборке одного и того же узла в пределах до 4,7 раза. В любом случае благодаря моделированию удавалось получить без дополнительной доводки изделие с величиной отклонения от перпендикулярности в пределах установленного допуска, либо до сборки предупредить о невозможности достижения требуемого качества узла.

Экспериментально выявлено удовлетворительное соответствие фактических значений отклонений рассчитанным теоретически с помощью предложенных зависимостей. Несовпадение результатов составляло не более 20% от величины, определенной теоретическим методом.

Экспериментальная проверка эффективности рассмотренных технологических методов показала, что с увеличением отношения отклонения формы сопрягаемых поверхностей к величине отклонения от перпендикулярности от 0,2 до 1,8 эффективность метода торцевой ориентации выше в 1,2...2,1 раза по сравнению с методом максимальных биений, причем первый позволяет определять величину результирующего отклонения расположения при любом угле параметрической ориентации сопрягаемых деталей.

При сборке узлов из нескольких деталей эффективность метода торцевых биений еще более увеличивается по сравнению с методом максимальных биений, так как он позволяет при наличии отклонений расположения поверхностей комплектующих деталей обеспечивать практически нулевые отклонения от перпендикулярности поверхностей сборочной единицы.

Уменьшению погрешности реализации метода торцевых биений относительно расчетного значения от 40% до 12% способствует создание одновременной равномерной затяжки всех резьбовых элементов или многоступенчатое – более 3-х раз – последовательное наращивание силы по этим элементам.

Как было выявлено в результате исследований, реализация метода торцевых биений возможна для соединений, закрепляемых гайкой, с помощью ряда технологических приемов, отработанных экспериментально. Было определено, что с уменьшением шага резьбы с 1,25 мм до 0,5 мм и соответствующей ориентацией гайки эффективность метода торцевой ориентации возрастала в 1,5 – 1,9 раза.

Экспериментальные исследования возможностей метода торцевой ориентации при прогнозировании качества реального

объекта на примере накладного поворотного стола показали его высокую эффективность по обеспечению не только величины отклонения от перпендикулярности зеркала стола к оси его вращения, но и жесткости стола по углу поворота в зависимости от места приложения эксплуатационной нагрузки. За счет применения метода торцевой ориентации без дополнительной механической обработки удалось повысить качество столов в 1,2...1,3 раза по обоим параметрам.

В четвертой главе рассмотрены вопросы организации автоматизированного модуля для сборки высокоточных узлов с обеспечением требуемого взаимного положения ответственных поверхностей.

Разработана структурная схема (рис.2) автоматизированного модуля для сборки. Модуль состоит из трех секций: сборочной СБС, измерительной ИС и вычислительной ВС. Секции связаны между собой транспортными потоками с деталями Д и узлами У, а также информационными потоками И.

Именно наличие информационного потока позволяет говорить об управляемой направленной сборке. Этот поток состоит из данных о каждой детали или готовой сборочной единице, а также из специальной технологической управляющей информации, с помощью которой происходит управление процессом сборки для достижения требуемого качества узла.

Измерительная секция состоит из двух подсекций: контрольной КИС и испытательной ИИС. В первой подсекции выполняется аттестация входящих деталей по всем ответственным параметрам, а во второй - контролируются все технические характеристики и требования сборочной единицы. Если на сборку детали поступают с сопроводительной информацией, позволяющей проводить моделирование сборки, то первая подсекция может отсутствовать. В случае выхода любого из параметров уже собранной единицы за пределы установленного допуска она может направляться на вспомогательный участок разборки и разводки УРД. После разборки детали могут быть повторно подвергнуты аттестации в измерительной секции для выявления возможности повторной сборки или необходимости дополнительной механической обработки этих деталей.

В работе приведены конструкции нескольких сборочных и контрольных средств, защищенных авторскими свидетельствами СССР.

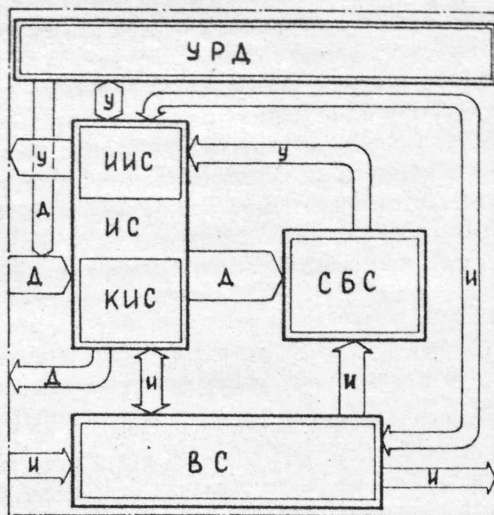


Рис. 2. Структурная схема автоматизированного модуля для сборки высокоточных узлов.

В лаборатории кафедры "Комплексная технология автоматизированного производства" МГТУ им. Н.Э.Баумана были изготовлены модельные образцы, которые позволили проверить функционирование опытного сборочного участка. Для управления участком была применена мини-ЭВМ Искра-1256, которая функционировала по составленным в соответствии с алгоритмом программам.

В главе показано, что реализация разработанных теоретических положений возможна только в условиях автоматизированного сборочного модуля (участка). В противном случае качество собираемых узлов гарантировать весьма трудно.

В пятой главе даны практические рекомендации по применению метода формирования отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей узла при сборке высокоточных изделий. Приведена последовательность и содержание операций сборки.

В работе выполнен расчет технико-экономической эффективности от внедрения метода торцевой ориентации для обеспечения качества сборочных единиц по параметру отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей.

В приложениях к работе приведены программы по определению величины отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей детали или узла с помощью кругломера, по моделированию величины отклонения от перпендикулярности поверхностей перед сборкой, по статистической обработке рельефа плоских поверхностей, по расчету объемных деформаций ряда деталей, описание конструкции и принципов работы оригинальных измерительных устройств.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Достижение требуемой величины отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей узла при сборке высокоточных изделий базируется на учете реальных отклонений формы и расположения ответственных поверхностей комплектующих узлов деталей, а также их контактных и объемных деформаций от сборочных сил при различных условиях нагружения деталей.

2. На основе физической закономерности формирования отклонения от перпендикулярности поверхностей при сборке предложен метод торцевой ориентации, позволяющий обеспечить точность достижения заданной величины отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей узлов при сборке больше в 1,3...1,9 раза по сравнению с применяемыми методами; разработанный метод базируется на определении необходимых разворотов сопрягаемых поверхностей, как по торцевым, так и по цилиндрическим поверхностям.

3. Экспериментальные исследования подтвердили, что теоретические предложения о регулярности рельефа торцевых высокоточных поверхностей справедливы и в пределах точности метода описание характера этих поверхностей можно осуществлять с помощью одной торцеграммы, записанной на максимальном радиусе в пределах зоны сопряжения.

4. Экспериментально определено влияние отклонения формы сопрягаемых поверхностей на процесс формирования отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей сборочной еди-

нищ при сборке.

5. Экспериментально определено влияние последовательности и условий проведения сборочного процесса на формирование отклонения от перпендикулярности, исходя из наименьшей неравномерности контактных деформаций в стыке.

6. Эффективность метода торцевой ориентации тем больше, чем ближе между собой по величине отклонения формы и расположения сопрягаемых поверхностей; она возрастает с увеличением количества элементов размерной цепи.

7. Разработана метрологическая методика оценки величины отклонения от перпендикулярности, учитывающая отклонения формы реальных поверхностей деталей.

8. Разработана принципиальная схема автоматизированного сборочного модуля, обеспечивающего управляемый от ЭВМ процесс сборки для получения требуемого отклонения от перпендикулярности ответственных поверхностей сборочной единицы; для оснащения сборочного модуля разработаны и изготовлены несколько единиц технологического оборудования, защищенных пятью авторскими свидетельствами СССР.

9. На основании проведенных исследований разработана инженерная методика по технологическому обеспечению качества изделий, эффективность которой была доказана при сборке реальных устройств — накладных поворотных столов.

10. В результате проведенных исследований были разработаны рекомендации, которые вошли в технологические регламенты Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. Ожидаемый экономический эффект от внедрения на одном заводе сборочного модуля составил около 4,0 тыс. руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Серенко В.А., Похмельных В.М., Бабаскин А.Г.

Автоматизация сборки высокоточных цилиндрических соединений /Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении: Тез. докладов республиканского совещания. — Ижевск, 1981, — с. 29–30.

2. Бабаскин А.Г. Роботизированный комплекс для сборки высокоточных соединений /Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении: Тез. докладов республиканской научно-технической конференции. — Ташкент, 1983, — с. 54–55.

3. Бабаскин А.Г., Серенко В.А.

Технологическое обеспечение взаимного расположения высокоточных поверхностей узлов станков при сборке /Совершенствование технологии и повышение качества сборки станков и металлорежущего оборудования (г.Одесса, октябрь 1988 г.): Тез.докладов всесоюзного научно-технического совещания. -М., 1988, -с.12-13.

4. Бабаскин А.Г., Серенко В.А.

Программный метод управления точностью сборки изделий в условиях ГПС //Труды МВТУ им.Н.Э.Баумана - 1988. -№ 501.-с.41-52.

5. А.с.№ 1215255 (СССР) Устройство для сборки охватываемой и охватывающей деталей типа вал-втулка /А.Г.Бабаскин, В.М.Похмельных, В.А.Серенко, Ю.С.Фролов - Опубликовано в Б.И. 1984, № 8.

6. А.с.№ 1227952 (СССР) Устройство для измерения диаметра вписанной окружности полигональных поверхностей изделий /А.Г.Бабаскин, А.М.Дальский, В.В.Ильин, В.М.Похмельных, В.А.Серенко, Ю.С.Фролов - Опубликовано в Б.И. 1986, № 16.

7. А.с.№ 1344721 (СССР) Гидравлическое подвесное устройство для плавного опускания грузов" /А.Г.Бабаскин - Опубликовано в Б.И. 1987, № 38.

8. А.с.№ 1471061 (СССР) Накладной кругломер /А.Г.Бабаскин, В.В.Ильин, В.М.Похмельных, В.А.Серенко - Опубликовано в Б.И. 1989, № 13.

