

М489908

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ им. Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ДЕРЕВЯГИН Сергей Иванович

УДК 621.019.3.002.72

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТОЧНОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИХ ГЕРМЕТИЗАЦИИ

Специальность 05.02.08 - Технологии машиностроения

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

Москва

1989

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

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор А.М.Дальский

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
доцент Е.А.Деулин;
кандидат технических наук,

Ведущее :

Защ
специали
адресу: :

С д
им. Н.Э.Б

Ваш
печатью,

Авт
Уче
кан
доп

прецизион-

седании
аумана по

ВТУ

ренный

нков

М 489908

Зак. 574 УХ- 03159 от 11.04.89 г. Объем I п.л.

Тир. 100 экз.

Типография МВТУ. 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., 5.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из важнейших задач современного машиностроения является повышение качества выпускаемой продукции. Параметры качества в значительной мере зависят от точности, которая формируется на всех этапах изготовления изделия. В настоящее время задача обеспечения точности решается в основном путем повышения точности механической обработки отдельных деталей, входящих в изделие. Вопросы технологического обеспечения точности на этапе сборки изделия изучены явно недостаточно. Особые сложности вызывает обеспечение точности взаимного расположения поверхностей изделия.

В процессе сборки точность взаимного расположения поверхностей формируется в результате сложного взаимодействия исходных погрешностей деталей, полученных на этапе механической обработки, с собственными погрешностями сборочного процесса, возникающими под влиянием силового замыкания. Это взаимодействие изучено недостаточно, так как связано с большим количеством взаимовлияющих конструктивных и технологических факторов.

Задача обеспечения необходимого качества изделия значительно усложняется, если кроме высокой точности необходимо обеспечить другие показатели, например, герметичность стыков. Трудности возникают из-за различия методов обеспечения отдельных показателей качества.

В настоящее время при изготовлении изделий, работающих под давлением рабочей среды, приходится иметь дело с допусками нескольких микрон или долей микронметра. Технологическое обеспечение таких допусков связано с большим объемом пригоночных работ при сборке изделия. Трудоемкость пригоночных работ составляет 25-45% общей трудоемкости изготовления прецизионного изделия. В то же время доводочные работы не гарантируют обеспечение точности собранного изделия после общей сборки. Так как задача герметизации стыков решается созданием высоких удельных нагрузок на сопрягаемые поверхности деталей, для чего герметизирующие поверхности выделяются и уменьшаются в размерах. Кроме того, материал прокладки, располагаясь между сопрягаемыми поверхностями и деформируясь пластически, вызывает нарушение взаимного расположения деталей.

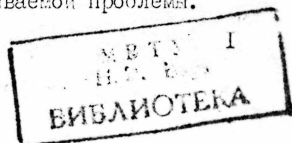
Вышеизложенное свидетельствует о большой научной значимости и практической актуальности разрабатываемой проблемы.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1489908

Деревягин С. И. Исследование



Цель работы. Исследование сущности явлений, происходящих в стыках герметизирующих высокоточных плоских поверхностей, и разработка методов обеспечения точности взаимного расположения деталей и плотности стыков при сборке герметичных высокоточных разъемных неподвижных соединений.

Методы исследования. Теоретические исследования механизма образования погрешности взаимного расположения деталей при сборке герметичных соединений проводились на основе теорий базирования и контактирования шероховатых тел. Для теоретического определения собственных упругих деформаций деталей под действием усилий силового замыкания использовались методы теории упругости. Теоретическое исследование влияния способов и технологических условий сборки соединений на образование межповерхностных зазоров в стыках сопрягаемых поверхностей проводилось на основе теории пластичности.

Экспериментальная проверка результатов теоретических исследований проводилась на специально разработанных и изготовленных стендах.

Научная новизна. В результате теоретических и экспериментальных исследований вскрыт механизм образования погрешности взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений. Выявлено, что основным источником возникновения погрешности взаимного расположения деталей при сборке соединений являются контактные процессы, происходящие в стыках сопрягаемых поверхностей. Доказано, что традиционные способы герметизации стыков имеют физические ограничения по созданию высокоплотных стыков. Предложен способ и технологические условия сборки высокоточных соединений, основанные на использовании в качестве уплотнителя тонких покрытий из высокопластичных металлов. Предложены методы управления точностью сборки герметичных высокоточных разъемных неподвижных соединений.

Практическая ценность. Результаты работы могут быть использованы для повышения точности сборки герметичных высокоточных соединений. На основе пакета прикладных программ и экспериментального стенда возможно создание автоматизированного рабочего места сборщика высокоточных соединений. Результаты работы внедрены на машиностроительном предприятии с годовым экономическим эффектом 2200 руб.

Реализация работы. Методика расчетов и технологические рекомендации по обеспечению герметичности и точности сборки

высокоточных неподвижных разъемных соединений приняты к внедрению Московским заводом скоростных прецизионных электроприводов. Получено авторское свидетельство СССР № 994155 "Способ стабилизации положения детали на столе станка". Авторское свидетельство СССР № 994155 внедрено на одном из машиностроительных предприятий.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и были одобрены на заседаниях кафедры "Технология машиностроения и режущий инструмент" МВТУ им. Н.Э.Баумана, на научно-технических конференциях и семинарах: "Перспективы механизации сборочных работ на предприятиях Минсельхозмаша" в г. Павлодаре в 1978 г., "Современные проблемы технологии машиностроения" в г. Москве в 1985 г., "Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация" в г. Туле в 1988 г., "Интенсификация процессов механической обработки и сборки в машиностроении" в г. Горьком в 1988 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами, общих выводов, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 78 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 86 наименований, четыре приложения. Общий объем работы 242 стр.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ проблемы обеспечения точности взаимного расположения деталей при сборке герметичных высокоточных разъемных неподвижных соединений.

Установлено, что рельефы реальных поверхностей, включающие в себя отклонения размеров, формы и расположения поверхностей, являются одним из основных источников возникновения несовершенства стыка герметичных высокоточных соединений. Проявлением несовершенства стыка являются, в частности, протечки рабочей среды и отклонения взаимного расположения собираемых деталей.

Основой для теоретических исследований механизма контактирования сопрягаемых поверхностей и формирования отклонений взаимного расположения деталей при сборке является аналитическое описание геометрии реальных поверхностей.

В общем случае информацию о рельефе реальной поверхности возможно получить только на основе измерения детали. Задача аналитического описания реальной поверхности сводится к аппроксимации совокупности значений неизвестной функции $f(x, y)$, материализованной в рельефе поверхности, заранее выбранной аналитической функцией. Предлагается описывать рельефы реальных поверхностей двумерными рядами Фурье.

Выявлено, что существующие конструкции узлов уплотнения соединений и методы обеспечения герметичности стыков сопрягаемых поверхностей разработаны применительно к трубопроводной и вакуумной технике и не обеспечивают получение высокой точности соединений. Анализ работы герметичных соединений показал, что прокладки, находясь между герметизирующими поверхностями деталей и деформируясь пластически, вызывают нарушение взаимного расположения деталей в соединении. Наиболее перспективно для получения высокой точности соединения с плоскими сопрягаемыми поверхностями. Однако при использовании этой конструкции в герметичных высокоточных соединениях необходимо решить проблему герметизации плоских стыков методами не снижающими точность взаимного расположения собираемых деталей.

Определено, что необходимы новые методы сборки высокоточных герметичных соединений и способы уплотнения контактирующих поверхностей, позволяющие, с одной стороны, контактировать деталям непосредственно по сопрягаемым поверхностям, с другой стороны, вытеснить материал уплотнителя в замкнутые межповерхностные зазоры, образованные контактирующими поверхностями. Добиться этого возможно управляя контактными процессами в стыке сопрягаемых поверхностей. Управление может осуществляться как прямым управляющим воздействием при сборке с помощью изменения, в определенных пределах, силового замыкания, так и косвенно, в силу технологической наследственности, например, целенаправленным формированием шероховатости и отклонений формы контактирующих поверхностей при изготовлении деталей.

Показано, что на формирование показателей точности взаимного расположения деталей в высокоточных изделиях самое непосредственное влияние оказывают контактные процессы, происходящие в стыках сопрягаемых поверхностей. Погрешность взаимного расположения собираемых деталей состоит из погрешностей базирования и силового замыкания. Погрешность базирования образуется за счет несовпадения зон контактирования при измерении

деталей и сборке реальных соединений. Погрешность силового замыкания образуется за счет наложения на детали нагрузок закрепления при сборке соединений и проявляется двояко: во-первых, в форме упругих деформаций собираемых деталей, во-вторых, в форме контактных деформаций в стыке сопрягаемых поверхностей.

На основе проведенного анализа и в соответствии с целью работы поставлены следующие основные задачи:

1. Вскрыть механизм образования погрешности взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений.
2. Разработать методы технологического управления точностью взаимного расположения деталей при сборке герметичных высокоточных соединений.
3. Выявить факторы, влияющие на герметичность стыков контактирующих высокоточных поверхностей.
4. Определить пути и способы герметизации стыков при сборке высокоточных соединений.
5. Экспериментальным путем проверить правильность теоретических исследований.

Во второй главе проведены теоретические исследования по разработке методов герметизации стыков сопрягаемых высокоточных поверхностей.

Герметичность стыков сопрягаемых поверхностей в большинстве случаев достигается пластическим деформированием прокладки из мягких металлов. Суть данного мероприятия - в заполнении материалом прокладки межповерхностных зазоров, образовавшихся при контактировании сопрягаемых поверхностей. Эффективность конструктивно-технологических мероприятий возможно оценивать по степени заполнения межповерхностных зазоров и по напряженно-деформированному состоянию уплотнителя.

В настоящее время основным методом повышения герметичности стыков является увеличение давления на уплотнитель, которое ограничено пределом текучести материала прокладки. Высокие давления вызывают значительные собственные упругие деформации герметизируемых деталей, что делает традиционные методы уплотнения стыков малоприменимыми для прецизионных соединений. Для разработки конструктивно-технологических мероприятий по герметизации стыков прецизионных соединений проанализировано напряженно-деформированное состояние уплотнителя.

В качестве аналитической модели выбрано внедрение микронеровностей герметизирующих поверхностей в пластический материал

уплотнителя. Микронеровности моделируются жестким штампом определенной формы. Допущение о жесткости штампа обосновано тем, что твердость материала герметизирующих поверхностей в 2-5 раз превышает твердость материала уплотнителя. Для анализа выбраны три формы микронеровностей: клиновья, сегментная и шатровая. Поведение деформируемого материала уплотнителя подчиняется теории Треска.

Задача решается на основе граничных интегральных уравнений численными методами. В приложении к диссертации приведена программа расчета по методу граничных элементов.

Теоретическое исследование выявило следующее:

1. при внедрении микронеровностей под воздействием нормальной нагрузки в пластический материал уплотнителя во впадинах при значении относительного внедрения $\epsilon \approx 0,6$ образуется объем заторможенного металла уплотнителя, который неподвижен относительно внедряющихся микронеровностей;

2. степень заполнения межповерхностной впадины зависит от формы микронеровностей и величины контактного трения на поверхности контакта и мало зависит от физико-механических свойств материала уплотнителя.

Данное явление объясняется тем, что под воздействием контактного трения и взаимного влияния микронеровностей между неровностями образуется объем заторможенного металла уплотнителя, который преобразует первоначальную форму микронеровностей.

Проведенное исследование определило пути повышения заполнения межповерхностных зазоров материалом уплотнителя, это:

- уменьшение контактного трения на контактирующих поверхностях;
- целенаправленное изменение геометрии микронеровностей герметизирующих поверхностей;
- изменение напряженно-деформированного состояния материала уплотнителя.

Для снижения контактного трения используются свойства ряда углеводородов, например, спиртов, сложных кислот и их натриевых солей, образовывать на поверхности твердых тел прочно связанные с поверхностью адсорбционные слои, обладающие способностью удерживаться на поверхности, не разрушаясь при высоких давлениях между контактирующими поверхностями. Активные смазки позволяют уменьшить коэффициент трения до $f=0,1$. На основе анализа напряженно-деформированного состояния уплотнителя выяв-

лено, что теоретическое заполнение межповерхностных зазоров увеличивается на 20%.

Теоретические исследования выявили, что нельзя рекомендовать использование активных смазок для повышения заполнения межповерхностных зазоров, образующихся при сборке высокоточных соединений. Основной причиной является низкая эффективность метода и сложность его реализации при сборке. Второй причиной является то, что активные смазки, оставаясь в замкнутых межповерхностных зазорах, могут стать источником межповерхностной коррозии и постоянных загрязнений рабочей среды. Для выведения смазок из межповерхностных зазоров необходимо повышать проницаемость стыка, что недопустимо для герметичных соединений.

Высокую точность герметичных соединений возможно обеспечить, добиваясь контактирования сопрягаемых поверхностей по выпуклостям основного металла детали, для чего необходимо вытеснить материал уплотнителя в замкнутые межповерхностные зазоры. Решить задачу вытеснения материала уплотнителя в замкнутые межповерхностные зазоры увеличением нагрузки силового замыкания невозможно. Для заполнения межповерхностных зазоров материалом уплотнителя необходимо выполнить уплотнитель в виде тонкого покрытия из высокопластичного металла и придать собираемым деталям касательные микроперемещения.

Толщина покрытия определяется объемом межповерхностных зазоров, образованных сопрягаемыми поверхностями.

$$h_n = \frac{H_{s1}}{2} + \frac{H_{s2}}{2} + R_{p1} + R_{p2} - h_z,$$

где H_{s1}, H_{s2} - высота волнистости соответственно первой и второй поверхностей; R_{p1}, R_{p2} - высота сглаживания соответственно первой и второй поверхностей; h_z - величина сближения сопрягаемых поверхностей.

Максимальная величина касательного микроперемещения определяется величиной предварительного смещения

$$\delta = \sqrt{2Rk_{cm}} [(2\sqrt{1+f^2})^{1/2} (\gamma_1 + \gamma_2) - 1],$$

где k_{cm} - величина внедрения микронеровности при воздействии нормальной нагрузки. Большие касательные смещения вызывают взаимное скольжение собираемых деталей и, как следствие, понижение точности взаимного расположения собираемых деталей.

Анализ заполнения межповерхностных зазоров при внедрении инденторов клиновой, сегментной и шатровой форм показал, что

использование шатровой формы микронеровностей, при прочих равных условиях, повышает степень заполнения межповерхностных зазоров до 25% по сравнению с клиновой формой. Управляя формой микронеровностей, с целью повышения заполнения межповерхностных зазоров, необходимо стремиться придать им при механической обработке герметизирующих поверхностей шатровую форму с большим радиусом впадины, малым радиусом вершины и большим углом наклона сторон неровностей.

Комплексное использование предлагаемых технологических методов позволит значительно повысить заполняемость межповерхностных зазоров и обеспечить контактирование деталей по выпуклостям сопрягаемых поверхностей.

В третьей главе рассмотрены теоретические предпосылки уменьшения погрешности взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений.

Сборка, как операция технологического процесса изготовления изделия, характеризуется необходимостью соединения деталей друг с другом при помощи силового замыкания с необходимой для нормального функционирования изделия точностью. Как правило, при сборке изделия происходит снижение точности как отдельных деталей, так и соединения в целом. Снижение точности вызвано деформированием собираемых деталей под действием силового замыкания. Величина и распределение деформаций зависят от ряда конструктивных /форма детали, величина и точка приложения силового замыкания и т.д./ и технологических /отклонения от правильных геометрических форм поверхностей, высота и форма микронеровностей и т.д./ факторов. В то же время комплексный учет влияния погрешности изготовления отдельных деталей и деформаций от силового замыкания при сборке на точность собранного соединения является сложной задачей.

Главной причиной образования отклонений взаимного расположения деталей в собранном изделии являются рельефы сопрягаемых поверхностей. Причем отклонения реальных поверхностей от геометрических прототипов возникают и трансформируются по ходу всего технологического процесса изготовления изделия в силу технологической наследственности. Все силовые воздействия при сборке вызывают трансформации рельефов реальных поверхностей, полученных деталей на этапе механической обработки.

В основу методики расчета погрешности взаимного расположения деталей положено представление изделия как совокупности

координатных систем, построенных на отдельных деталях, с наложенными на них силовыми связями. Детали представляются как деформируемые твердые тела с рельефами реальных поверхностей, изменяющимися под действием силового замыкания.

Координатные системы деталей строятся по принципу нулевых систем координат с учетом направления вектора силового замыкания. Установочная плоскость строится перпендикулярно вектору силового замыкания и проходит через три наиболее высокие выпуклости реальной поверхности. Вектор силового замыкания должен проходить внутри фигуры, ограниченной контурными площадями касания. Аналогичным образом достраиваются другие плоскости системы координат детали учитывая, что направляющая плоскость определяется двумя, а опорная одной выпуклостями поверхности. Построенная таким образом система координат детали позволит однозначно описать рельефы реальных поверхностей.

Отклонения рельефа реальных поверхностей от координатных плоскостей возможно представить, задавая положение каждой измерительной точки координатами X, Y, Z . В данном случае положение точек измерения может быть произвольное. Однако предпочтительнее рельеф задавать в виде численного поля или двумерного массива, считая, что положение отклонения рельефа от координатных плоскостей определяется ее порядковым номером и шагом измерения по двум координатам. В этом случае положение точек измерения строго фиксированное.

Аналитическое описание рельефа реальной поверхности включает в себя два этапа: на первом этапе реальная поверхность представляется рядом дискретных значений текущего отклонения, на втором - по ряду дискретных значений текущего отклонения необходимо восстановить форму реальной поверхности с необходимой точностью. Точность представления реальной поверхности аналитической функцией определяется количеством точек измерения и может быть достаточно высокой. Для аналитического описания реальной поверхности, например, двойными тригонометрическими полиномами, необходимо и достаточно знать текущее отклонение рельефа в Q точках

$$Q = (2m + 1)(2n + 1),$$

где m, n - номера высших гармоник/если реальная поверхность описывается рядами Фурье, то m, n - порядок ряда/.

В процессе сборки высокоточных соединений, сопрягаемых по плоским поверхностям, выделяются этап базирования присоединяемой детали на поверхности базовой детали и этап силового закрепления деталей. Этап базирования заключается в установке присоединяемой детали на сопрягаемую поверхность базовой детали с относительно небольшим усилием. Это усилие во много раз меньше силового замыкания и часто равно весу детали. Иногда это усилие создают преднамеренно, для исключения взаимного перемещения деталей при наложении силового замыкания. Этап силового замыкания характерен тем, что в результате приложения силового замыкания присоединяемая и базовая детали изменяют взаимное положение. Изменение взаимного положения деталей происходит за счет несовпадения векторов силового замыкания и усилий предварительного закрепления. Присоединяемая деталь занимает относительно устойчивое положение, если вектор силового замыкания проходит через площадь, ограниченную контурными площадями касания.

Погрешность этапа базирования носит для данного сочетания реальных поверхностей постоянный характер и не зависит от величины прикладываемой нагрузки. Погрешность силового замыкания меняется с изменением величины и точки приложения силового замыкания, что проявляется, во-первых, в изменении контурных площадей касания на сопрягаемых поверхностях собираемых деталей, во-вторых, в изменении рельефов сопрягаемых поверхностей за счет деформирования собираемых деталей.

Для определения деформаций собираемых деталей использовалась аналитическая модель в виде соединения из трех плит из разнородных материалов с различными физико-механическими свойствами. Расчеты проводились с использованием трехмерной теории упругости. Решения уравнений теории упругости для смещений в осесимметричном напряженно-деформированном состоянии при отсутствии кручения задавались функциями напряжений φ , ψ Буссинеска. Величины деформаций для дальнейшего использования в расчетах погрешности относительного расположения деталей определялись в узловых точках, т.е. в тех точках, в которых измерялся рельеф поверхностей после механической обработки. Результаты расчетов величины деформаций приводились в безразмерном виде в форме численного поля.

При наложении силового замыкания в стыке сопрягаемых поверхностей собираемых деталей возникают контактные деформации, которые вносят дополнительную погрешность взаимного расположения. Для прецизионных соединений доля контактных деформаций в общем балансе погрешности взаимного расположения достигает 80%. Это показывает, что, зная механизм возникновения и способы расчета величин контактных деформаций отысков сопрягаемых поверхностей, возможно целенаправленно формировать взаимное расположение деталей при сборке прецизионных соединений, изменяя технологические условия /величину и порядок приложения силового замыкания, селективная сборка по рельефам сопрягаемых поверхностей и т.д./.

Анализ формул по расчету величины контактного сближения сопрягаемых поверхностей показывает, что все расчеты основываются на знании показателя качества поверхностного слоя и на распределении контурного давления в стыке. Показатели качества поверхностного слоя сопрягаемых поверхностей формируются при изготовлении деталей. Задачу определения контурной площади касания решаем на основе информации о рельефах реальных поверхностей и величины силового замыкания. Допуская, что собираемые детали контактируют первоначально по трем максимальным выпуклостям, и задав определенное контактное сближение рельефов поверхностей, получим распределение контурной площади касания по поверхности стыка. Величина сближения на каждом отдельном участке поверхности стыка индивидуальна и определяется рельефами сопрягаемых поверхностей. Взаимный поворот деталей будет продолжаться до выравнивания моментов инерции контактных давлений относительно осей симметрии собираемых деталей. Считая, что шероховатость и физико-механические свойства поверхностного слоя приблизительно одинаковы в любой точке номинальной площади касания, получаем, что распределение контурного давления пропорционально рельефу реальных поверхностей. Основываясь на распределении контурного давления по поверхности стыка, находим величины сближения и повороты собираемых деталей.

Данная методика расчета погрешности взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений реализована в пакете прикладных программ, написанных на языке ФОРТРАН.

В четвертой главе рассмотрены вопросы экспериментальной проверки реализуемости и эффективности предлагаемых методов технологического обеспечения точности прецизионных соединений при их герметизации.

Изложены основные методические положения выполнения экспериментальных исследований. Дано описание экспериментальных стендов для измерения рельефов реальных поверхностей, для исследования точности взаимного расположения деталей при сборке герметичных высокоточных соединений и др. Стенд для измерения рельефа изготовлен на базе координатно-расточного станка и включает измерительные системы мод. 276 завода "Калибр", работающие в режиме алгебраического сложения, электронные блоки задания шага измерения, регистрирующую аппаратуру и образцовую поверхность. В качестве образцовой поверхности использовались плоские интерференционные стекла ПИ-120. Контроль точности стенда производился с использованием в качестве измеряемой детали второго плоского интерференционного стекла ПИ-120. Контроль точности стенда показал, что погрешность измерения составляет не более $\pm 0,15$ мкм.

Стенд для исследования точности взаимного расположения состоит из измерительных систем мод. 276, тензоусилителя, тензошпидек для измерения усилий силового замыкания, регистрирующей аппаратуры. Изменение взаимного расположения определяли по показаниям трех измерительных систем мод. 276, материализующих нулевую плоскость контакта. Контроль величины силового замыкания осуществляли при помощи тензошпидек с смонтированными тензодатчиками сопротивления.

Проведенные исследования подтвердили возможность и эффективность повышения точности взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений за счет управления величиной и порядком приложения силового замыкания. Погрешность базирования сопрягаемых деталей определяется: по линейным размерам $\pm 0,2 \Delta$; по угловым размерам $\pm 0,35 \Delta/L_k$; погрешность взаимного расположения деталей от силового замыкания составляет: по линейным: размерам $\pm 0,35 \Delta$; по угловым размерам $\pm 0,25 \Delta/L_k$, где Δ - наибольшая величина отклонения реального профиля поверхности от нулевой плоскости контакта; L_k - длина контактирования сопрягаемых поверхностей.

В результате проведенных исследований подтверждено, что форма отклонения реальной поверхности от геометрического прото-

взаимного расположения собираемых деталей. Так, при наибольшей величине отклонения $\Delta = 5$ мкм погрешность взаимного расположения для выпуклых сопрягаемых поверхностей составляет $\omega = 7$ мкм, а для вогнутых - $\omega = 1,3$ мкм.

Управление порядком приложения и величиной силового замыкания при сборке высокоточных соединений позволяет повысить точность: по линейным размерам в 1,6 раза; по угловым размерам в 1,75 раза.

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность предлагаемых методов технологического обеспечения герметичности стыков высокоточных соединений. Экспериментальные исследования эффективности методов герметизации стыков проводили на стенде, позволяющем регистрировать прикладываемую нагрузку к герметизирующим поверхностям. Эффективность метода оценивали по степени заполнения межповерхностных зазоров путем сравнения высоты и формы микронеровностей герметизирующих поверхностей и материала уплотнителя. Высота и форма микронеровностей записывались на профилографе-профиломере мод. 201.

Исследование подтвердило возможность создания шатровой формы микронеровностей герметизирующих поверхностей путем точения минералокерамикой ВК-60. Технологическое управление формой микронеровностей позволяет повысить заполняемость межповерхностных зазоров в 1,2 раза.

Использование тонких покрытий из высокопластичных металлов /индий, олово, свинец, кадмий и др./ и касательных микроперемещений значительно повышает заполняемость межповерхностных зазоров до 50% от заполнения только под действием нормальных нагрузок. Толщина покрытия определяется объемом межповерхностных зазоров, образованных контактирующими поверхностями. Величина касательных микроперемещений не должна превосходить величины предварительного смещения контактирующих поверхностей. Касательные возвратно-поступательные микроперемещения необходимо прикладывать перпендикулярно направлению следов обработки.

Комплексное экспериментальное исследование сборки герметичных высокоточных соединений показало, что герметичность соединений повысилась в 10-100 раз при существенном повышении точности собранных соединений по сравнению с соединениями, уплотняемыми традиционными методами.

В пятой главе представлены практические выводы и рекомендации по технологическому обеспечению точности взаимного рас-

положения деталей при сборке герметичных высокоточных разъемных неподвижных соединений.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований указывают на то, что получено новое решение актуальной задачи, заключающееся в раскрытии сущности явлений, происходящих в стыке сопрягаемых поверхностей герметичных высокоточных разъемных неподвижных соединений, представляющее образование погрешностей взаимного расположения собираемых деталей и негерметичность соединений как частные случаи несовершенства стыка сопрягаемых поверхностей.

2. Задачу обеспечения точности сборки герметичных высокоточных соединений наиболее эффективно решать управлением ходом контактных процессов в стыке сопрягаемых поверхностей. Управление ходом контактных процессов может осуществляться непосредственно при сборке путем изменения величины и порядка приложения силового замыкания или косвенно, в силу технологической наследственности, путем создания необходимого качества поверхностного слоя при изготовлении деталей.

3. Изменение взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений возможно проследить по изменению зон касания сопрягаемых поверхностей. Детали при этом должны рассматриваться как деформируемые твердые тела с рельефами поверхностей, изменяющимися под действием силового замыкания.

4. Анализ обеспечения точности сборки высокоточных соединений показал невозможность использования в качестве уплотнителей традиционных прокладок. Рекомендуется для высокоточных соединений использовать в качестве уплотнителей тонкие покрытия из высокопластичных металлов.

5. Дать "жесткие" рекомендации о порядке приложения и величине силового замыкания представляется нецелесообразным. Это приведет, с одной стороны, к существенному снижению точности собранного соединения, с другой - к необходимости значительного понижения точности изготовления отдельных деталей. В любом случае такие рекомендации отрицательно скажутся на технико-экономических показателях высокоточных изделий.

6. Теоретически обоснованно и экспериментально подтверждено использование при изготовлении герметичных высокоточных

соединений следующих технологических мероприятий: придание при сборке сопрягаемым деталям касательных микроперемещений; использование в качестве уплотнителей тонких покрытий; обработку герметизирующих поверхностей с целью получения на них шатровой формы микронеровностей.

7. Экспериментальные исследования подтвердили эффективность управления точностью взаимного расположения деталей при сборке высокоточных соединений путем изменения величины и порядка приложения силового замыкания, что повышает точность:

- по линейным размерам в 1,6 раза;
- по угловым размерам в 1,75 раза.

8. Управление протеканием контактных процессов в стыке герметизирующих поверхностей путем целенаправленного формирования показателей качества поверхностного слоя позволяет повысить герметичность в 10-100 раз.

9. По материалам работы разработаны программы, позволяющие создать на их основе автоматизированные рабочие места сборщиков прецизионных соединений.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Стаценко О.А., Деревягин С.И. Некоторые вопросы технологического обеспечения точности положения деталей при сборке // Перспективы механизации сборочных работ на предприятиях Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения: Тезисы докладов Всесоюзного совещания. - Павлодар, 1978. - С.84-85.

2. Нуржанов А.Н., Стаценко С.А., Деревягин С.И. Влияние контактных деформаций на относительное положение деталей в процессе закрепления // Технология машиностроения и автоматизация. - Алма-Ата, 1978. - Вып.7. - С.180-183.

3. Васильев А.С., Деревягин С.И. Технологическое обеспечение герметичности высокоточных разъемных соединений // Тезисы докладов XXVI Республиканской научной конференции: Сборник. - Улан-Уде, 1987. - С.27.

4. Деревягин С.И. Конструктивно-технологическое обеспечение надежности высокоточных герметичных соединений на стадии сборки // Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - Тула, 1988. - С.69.

5. Деревягин С.И. Конструктивно-технологическое обеспечение качества герметичных прецизионных соединений / МВТУ. - М., 1988. - 24 с. - Деп. во ВНИИТМР 05.06.88, № 309-мл.

6. А.с. 994155 СССР, МКИ В 23 С2/00. Способ стабилизации положения детали на столе станка / С.А.Стаценко, С.И.Деревягин СССР. - Оpubл. 07.02.83 // В.И. № 5.

