

М 474055
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

На правах рукописи

МАКСИМОВИЧ БОРИС ДМИТРИЕВИЧ

УДК 621.757

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ
СВОРКИ ГРУППОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Специальность 05.02.08. - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1988

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

Научные руководители

- доктор технических наук, профессор Корсаков В.С.
- кандидат технических наук, доцент Мещеряков Р.К.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор Волчкович Л.И.
- кандидат технических наук, с.н.с. Самарянов В.А.

Ведущее предприятие

- указано в решении ученого совета

Защита диссертации состоится "18" апреля 1988 года на заседании специализированного Совета К.053.15.15 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-й Бауманский проезд, д. 15.

С диссертацией
Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на
часть просим на

Авторефер

Ученый сек
кандидат технич

Зак. 242 Л - 4612

М 474059

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В решении XXVII съезда КПСС поставлена задача повышения производительности труда в машиностроении, для чего необходимо увеличение автоматизации производства в 2 раза. Заключительным этапом производства машин является сборка. Трудоемкость сборки в машиностроении составляет 18 - 25% всей трудоемкости изготовления машин. Уровень автоматизации сборочных работ достигает всего лишь 5% от трудоемкости.

Одним из наиболее распространенных видов соединений являются резьбовые соединения (РС). На их долю приходится 15-25% от общего количества соединений и 25-35% трудоемкости сборочных работ. 70 - 80% РС относится к многокомпонентным (число сопрягаемых деталей, входящих в РС, три и более), групповым РС с числом резьбовых деталей от двух до двадцати. На заводах массового производства имеются отдельные примеры автоматизации сборки РС. Как правило, автоматизирована затяжка резьбовых деталей с заданной силой. Установка всех деталей резьбового соединения, включая нахлывление резьбовых деталей, производится вручную.

Автоматизация сборки групповых РС - наиболее характерный пример необходимости тесной взаимосвязи конструкции сборочной единицы и системы автоматических сборочных машин. Требования к конструкции в условиях автоматической сборки обычно ужесточены. Степень ужесточения необходимо учитывать на стадии проектирования РС.

В связи с изложенным, исследование процессов сборки групповых РС является актуальной задачей, решение которой позволит создавать высокопроизводительные средства автоматизации и технологические процессы, обеспечивающие качественную сборку групповых РС и определять требования к конструкции РС, отвечающие условиям автоматической сборки.

Цель работы. Исследование процессов и разработка технологических способов и оснастки, позволяющих повысить производительность и качество автоматической сборки групповых РС. Разработка методики количественной оценки технологичности конструкции деталей и соединений, входящих в групповое РС, для условий автоматической сборки.

Методы исследования. Исследования технологических процессов автоматической сборки групповых РС выполнены аналитическими и экспериментальными методами. Математическое описание связей параметров по этапам изучаемого процесса получено с помощью аппара-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1474055

Максимович Б.Д. Технологич



та аналитической геометрии, алгебры, классической механики, теории обыкновенных дифференциальных уравнений и численных методов их решения и органически связано с основными положениями технологии машиностроения.

Обработка экспериментальных исследований производилась на ЭМ. Эксперименты проводились с образцами и промышленными изделиями.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлены закономерности протекания процесса автоматической сборки групповых РС. Получены зависимости, устанавливающие взаимосвязь между параметрами резьбовых деталей, режимом процесса сборки, геометрическими размерами элементов конструкции сборочных механизмов. Предложена методика построения процесса наживления резьбовых деталей групповых РС, обеспечивающая повышение производительности и качества автоматической сборки.

Предложена методика количественной оценки технологичности конструкции РС для условий автоматической сборки, учитывающая влияние элементов конструкции на безотказность и позволяющая оценить конструкцию РС на стадии проектирования.

Практическая ценность. Установлены математические модели этапа наживления резьбовых деталей групповых РС, позволяющие рассчитывать параметры процесса автоматической сборки и конструктивные элементы технологической оснастки, обеспечивающие увеличение параметрической безотказности сборки до 600 циклов с минимальным временем наживления.

Разработана методика количественной оценки технологичности конструкции РС для условий автоматической сборки и рекомендации по повышению технологичности конструкции РС.

Предложена конструкция патрона для автоматического надежного наживления и затяжки болтов и гаек, обеспечивающая компенсацию погрешности взаимного ориентирования сопрягаемых поверхностей в пределах 2 - 2,5 мм. (Заявка на изобретение № 4242408/25-28 (076636) от 12.05.87., положительное решение от 23.II.87.). Даны рекомендации по созданию конструкций патронов позволяющих обеспечить безотказное наживление шпилек в широких диапазонах резьбы и смещений деталей относительно друг друга. Даны рекомендации по методам настройки механизмов наживления и затяжки резьбовых деталей групповых РС.

Предложена методика проектирования технологического процесса

автоматической сборки групповых РС.

Реализация результатов работы. Результаты работы в виде: методики проектирования процессов сборки РС, методики оценки технологичности конструкции РС для условий автоматической сборки, чертежа патрона с повышенными возможностями компенсации потребности взаимного положения деталей перед наживлением и научно-технической документации по технологической оснастке, — переданы Минскому конструкторско-технологическому экспериментальному институту автомобильной промышленности для проведения конструкторских и технологических работ.

Методика оценки технологичности конструкции РС вошла в изданные Минавтопромом руководящие материалы: "Методика оценки технологичности конструкции деталей и сборочных единиц автомобильных двигателей для условий автоматической сборки".

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Комплексная механизация и автоматизация основного и вспомогательного производства." в Москве, 1981 г., Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы, вопросы автоматизации производства." в Краснодаре, 1981 г., Областной научно-технической конференции "Механизация и автоматизация контрольно-сборочных операций в машиностроении в Волгограде, 1980 г., Республиканской научно-технической конференции "Промышленные роботы и АСУ роботизированным производством." в Одессе, 1982 г. и на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения и металлорежущий инструмент" МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1983-1987 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ

Объем работы. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 91 рисунок, 21 таблицу, список литературы из 103 наименований, 2 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена ее цель и дана характеристика научной новизны.

В первой главе анализируется состояние автоматизации сборки РС по производственным исследованиям и литературным источникам.

Нами были проведены исследования надежности работы автоматических линий по сборке групповых многокомпонентных РС на заводах ав-

томобильной промышленности: ГАЗ, ВАЗ, КАМАЗ, ЗИЛ и ЗМЗ. Линии имеют линейную компоновку и транспортную систему жесткой связи. При исследовании выделялись параметрические отказы (невыполнение соединений деталей при работающем оборудовании), отказы функционирования и простои по организационным причинам. Суммарные потери производительности составляют примерно 40% от расчетной. Из них потери производительности вызванные параметрическими отказами составляют 20 - 42%. Наибольшие потери производительности (параметрические отказы) достигают 42% на позициях установки присоединяемой детали на группу шпилек одновременно. Потери производительности на автоматах наживления резьбовых деталей на этих линиях составляют 25 - 28%.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время наиболее полно исследованы процессы затяжки РС, обеспечивающие качество сборки РС, определяемое точностью силы затяжки. Для групповых РС установлено, что разброс напряжения в шпильках, при неодновременной затяжке гаек, достигает 20 - 28% от заданного. При этом снижается ресурс работы, например, двигателя внутреннего сгорания в 1.2 - 1.5 раза. При автоматической сборке одновременность затяжки всех крепежных деталей группового РС зависит в основном от этапа наживления. Установлено, что наживление осуществимо за 1-6 оборотов резьбовой детали. Однако в работах нет рекомендаций по уменьшению разброса времени наживления резьбовых деталей в групповых РС.

Для РС с одним и двумя резьбовыми сопряжениями определены условия компенсации погрешности взаимного положения деталей и угла перекоса осей сопрягаемых резьбовых поверхностей. Величина предельного отклонения от соосности деталей, при котором возможно их гарантированное сопряжение, определяется из условия совпадения следов резьбы на торце болта (шпильки) и торце гайки. При совмещенных осях сопрягаемых резьбовых поверхностей и отсутствии угла перекоса необходимо определенное соотношение скоростей вращения и осевого перемещения, чтобы виток гребня резьбы болта попал в виток паза резьбы гайки. Однако процесс автоматического наживления и завинчивания резьбовых деталей является непрерывным, следовательно, условия сборки по всем этапам должны быть взаимосвязаны.

При проектировании резьбовых соединений необходима количественная оценка технологичности конструкции деталей и соединений входя-

щих в РС. В литературе предлагаются методики оценки технологичности конструкций для условий автоматической сборки, которые обладают недостатками: субъективность предлагаемых критериев, отклонение от требований стандартов, громоздкость вычислений.

В соответствии с результатами производственных исследований и целью работы в диссертации были поставлены и решены следующие задачи:

1. Выявить основные параметры, определяющие стабильность автоматического наживления резьбовых деталей групповых РС и качество их сборки.

2. На основе анализа динамики и экспериментальных исследований установить зависимости, определяющие взаимное влияние параметров процесса автоматического совмещения осей сопрягаемых поверхностей и наживления резьбовых деталей.

3. Определить условия собираемости, обеспечивающие безотказность и минимальное время на этапах совмещения осей и наживления резьбовых деталей.

4. Установить оптимальные по критерию безотказности параметры исполнительных механизмов.

5. Определить критерии оценки технологичности конструкций резьбовых соединений для условий автоматической сборки.

Вторая глава посвящена исследованиям производительности исполнительных механизмов и установок автоматической сборки и качества сборки групповых РС. Были исследованы исполнительные механизмы для автоматического наживления и завинчивания гаек со стержневым ловителем (на линии сборки шатунов на ВАЗе, ЗМЗ, КАМАЗе и ГАЗе, линии сборки головки блока цилиндров на КАМАЗе и др.) и без него (на линии сборки крестовой муфты на ВАЗе, линии сборки заднего моста на ГАЗе), с двумя и десятью шпинделями. Исследования показали, что увеличение количества шпинделей с двух до десяти приводит к росту потерь производительности на 20% и снижает параметрическую безотказность в 1.5-2 раза. Увеличение одновременно сопрягаемых поверхностей до десяти (установка головки блока цилиндров на 10 шпилек на Зиле) снижает параметрическую безотказность в 8-10 раз. Основное количество параметрических отказов возникает из-за несовмещения осей сопрягаемых поверхностей, что обусловлено отсутствием фасок у деталей с накатанной резьбой и большими погрешностями межосевых расстояний в групповых РС, достигающих 1.5 мм.

Наживление шпилек и болтов в винтовом соединении на заводах ав-

томобильной промышленности практически не автоматизированно.

Исследования точности изготовления деталей с накатанной резьбой показали, что у них отсутствует фаска на торце и существует значительная погрешность трех заходных витков резьбы. У шпилек и болтов М14 – М20 она достигает 1мм по среднему диаметру резьбы. Кроме того у этих деталей заходной виток резьбы практически отсутствует. Погрешность заходных витков у гаек и в резьбовых отверстиях достигает 0.6 мм по среднему диаметру. Измеренные фактические размеры резьб от М6 до М20 позволили вычислить фактический предельный угол перекося осей сопрягаемых резьбовых поверхностей, при котором происходит наживление через нитку. Величина угла колеблется в пределах $5-4^{\circ}$ для М20-М6.

Контроль точности выполнения резьбовых отверстий в корпусных деталях (блок цилиндров, крышка блока цилиндров) показал, что величина отклонения межосевых расстояний резьбовых отверстий в групповых РС достигает 1.2 мм. Отклонение от перпендикулярности осей отверстий относительно плоскости прилегания присоединяемой детали равно 20–80 мкм. Данная погрешность подчинена нормальному закону распределения, при этом центр группирования соответствует значениям 50–60 мкм или углу перекося $3.5-4^{\circ}$. Для резьбовых деталей М16-М20 это значение близко к предельному углу перекося.

Производственные исследования позволили установить основные факторы, влияющие на протекание процесса наживления в групповых РС: погрешность межосевого расстояния, отсутствие фасок на резьбовых деталях, отклонение от перпендикулярности осей резьбовых поверхностей отверстий относительно плоскости прилегания соединяемых деталей в РС.

В третьей главе проведен анализ процесса автоматического наживления, гаек, шпилек и болтов в винтовом соединении. Рассматривались условия вертикальной и горизонтальной сборки, различные схемы базирования резьбовых деталей в патронах. Базирование гаек возможно в патронах со стержневым ловителем и без него. Шпилек в патронах с захватом шпильки за резьбовую часть и за цилиндрическую часть, при их наживлении с ловителем и без него. Болты в винтовом соединении базировались в отверстиях присоединяемой детали и в патроне.

Проведенный анализ позволил выявить общие закономерности для всех видов соединений и схем базирования.

При выполнении автоматического наживления крепежных деталей номинальным положением сопрягаемых резьбовых поверхностей перед сборкой является такое, когда их оси лежат на одной прямой. Отклонения от номинального положения определяются углом поворота и смещением их осей. Продольное перемещение по оси и вращение вокруг нее являются рабочими движениями сборки. Поперечное смещение осей в направлении перпендикулярном рабочему движению сборки, представляет собой погрешность относительной ориентации $\Delta \Sigma$. Она определяется зависимостью:

$$\Delta \Sigma = F(\Delta_n, \varepsilon, \varepsilon'), \quad (1)$$

где Δ_n — погрешность настройки, ε — погрешность положения базовой детали, ε' — погрешность положения присоединяемой детали. Настройка автоматических сборочных механизмов производится по эталонным деталям, установленным в сборочную позицию. Погрешность настройки Δ_n определяется, как отклонение от соосности поверхностей эталонных деталей, по которым производится настройка деталей и механизма.

Для механизмов, предназначенных для осуществления процессов сборки групповых РС несколькими шпинделями одновременно, погрешность Δ_n для любого из шпинделей зависит от метода настройки, от точности измерений, от точности изготовления исполнительного механизма. Анализ показал, что настройку механизмов с вертикальной компоновкой необходимо производить по оси шпинделя, совмещающая ее с осью резьбовой поверхности эталонной базовой детали. При горизонтальном расположении шпинделей настройка может производиться по оси шпинделя или по оси патрона, так как присоединяемая деталь при таком положении шпинделя всегда смещается в одном направлении. При настройке многшпиндельных исполнительных механизмов необходимо учитывать величину допусков на расстояния между осями резьбовых поверхностей в базовой детали. При величине этой погрешности до 1 миллиметра возможно применение механизма с жестким расстоянием между шпинделями и настройку необходимо производить по оси любого из шпинделей. При величине погрешности межосевого расстояния более 1 мм рекомендуется применение механизма с возможностью настройки каждого шпинделя индивидуально.

Погрешность ε равна разности предельных положений оси сопрягаемой поверхности базовой детали и определяется выражением

$$\varepsilon = \sqrt{\Delta_{пр}^2 + \Delta_{\phi}^2 + T_{\delta}^2 + T_{\Delta}^2}, \quad (2)$$

где $\Delta_{пр}$ – погрешность изготовления базового приспособления, Δ_{ϕ} – погрешность фиксации, T_{δ} – погрешность изготовления базовой детали, T_{Δ} – погрешность изготовления сопрягаемой поверхности.

Погрешность ε' равна разности предельных положений оси сопрягаемой поверхности присоединяемой детали и определяется из

$$\varepsilon' = \sqrt{\Delta_{и}^2 + \Delta_{ш}^2 + \Delta_{п}^2 + T_{п}^2 + T_{с}^2}, \quad (3)$$

где $\Delta_{и}$ – погрешность изготовления исполнительного механизма, $\Delta_{ш}$ – погрешность изготовления шпинделя, $\Delta_{п}$ – погрешность изготовления патрона, $T_{п}$ – погрешность присоединяемой детали, $T_{с}$ – погрешность сопрягаемой поверхности.

Кроме указанных погрешностей перед сборкой оси сопрягаемых поверхностей развернуть друг относительно друга на угол χ , величина которого зависит от тех же параметров.

Возможно два варианта построения процесса автоматического наживления: включение вращения шпинделя до соприкосновения присоединяемой детали с базовой и включение вращения шпинделя после соприкосновения. Киносъемка процесса наживления позволила установить, что время наживления меньше при включении вращения шпинделя до соприкосновения присоединяемой детали с базовой. При этом процесс наживления делится на два этапа: совмещение осей сопрягаемых поверхностей и собственно наживление (совмещение заходных витков резьбы). На этапе совмещения ось сопрягаемой поверхности присоединяемой детали перемещается в пределах области, ограниченной радиусом $\zeta = \Delta_y + \varepsilon'/2$, где Δ_y – возможные упругие отжатия патрона и присоединяемой детали. Вероятность совмещения осей сопрягаемых поверхностей будет определяться вероятностью попадания оси присоединяемой детали в окрестность оси сопрягаемой поверхности базовой детали, определяемую радиальным зазором в соединении δ_c . Следовательно необходимое условие выполнения наживления можно записать в виде

$$(\Delta_y + \varepsilon'/2) \geq (\Delta_n - \delta_c + \varepsilon/2). \quad (4)$$

Для группового РС условие собираемости для любого шпинделя будет выражаться условием:

$$(\Delta_y + \varepsilon_j/2) \geq [\Delta_n + T_{\lambda_j} - (\delta_{c_j} + \sum f_{i_j} + \sum \Delta d_{i_j}) + \varepsilon_j/2], \quad (5)$$

где $T_{\lambda j}$ - допуск на расстояние между осью данного шпинделя и осью настройки, j - порядковый номер шпинделя.

Для выполнения второго этапа одним из основных условий является $\gamma_{\Sigma} < \beta_{np}$, где β_{np} - предельный угол перекося, при котором возможно наживление через нитку. Перед выполнением второго этапа величину угла γ_{Σ} можно определить из выражения:

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma_{\Sigma} + \gamma_{np} = \gamma_{\Sigma} + \arctg [(\Delta_n + \varepsilon/2)/L] \leq \beta_{np}, \quad (6)$$

где L - длина патрона, γ_{Σ} - угол перекося оси сопрягаемой поверхности базовой детали, γ_{np} - угол перекося оси присоединяемой детали. Компенсация угла γ_{Σ} происходит за счет зазоров в патроне и в конце процесса наживления γ_{Σ} равно нулю. Тогда длину патрона можно определить по уравнению

$$L \geq \varepsilon' / \tg(\beta_{np} - \gamma_{\Sigma}). \quad (7)$$

Уравнения 4-7 определяют необходимые условия выполнения процесса наживления.

Для определения режимов, которые обеспечат минимальное время наживления, был проведен анализ динамики процесса на всех этапах.

При вращении до соприкосновения деталей, присоединяемая резьбовая деталь будет совершать круговое движение с постоянным радиусом ρ относительно оси шпинделя. Если ось шпинделя расположена горизонтально, то это движение может быть описано уравнениями Лагранжа второго рода:

$$\left. \begin{aligned} (M\ell^2 + J_{x_1})\ddot{\chi} - J_{x_1}\omega\dot{\chi} + J_{x_1}\omega^2\chi &= -P\sin\omega t \\ (M\ell^2 + J_{y_1})\ddot{\chi} + J_{y_1}\omega\dot{\chi} - J_{y_1}\omega^2\chi &= -P\cos\omega t \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где M - масса патрона с присоединяемой деталью, ℓ - расстояние от начала координат до центра тяжести, начало координат принято на оси шпинделя в точке крепления патрона, χ_1 и χ_2 - координаты точки пересечения оси присоединяемой детали с ее торцом, J_{x_1} и J_{y_1} - моменты инерции относительно осей связанных с присоединяемой деталью. Из уравнений динамики находим, что скорость вращения присоединяемой детали ω равна

$$\omega \geq \sqrt{\frac{P}{(M\ell^2 + J_{x_1})\varepsilon'_{max}}}, \quad (9)$$

где P - сила веса патрона. При вертикальном расположении оси -

$$\omega \geq \sqrt{\frac{P\rho_c}{M\ell \cdot \varepsilon'_{max}}}, \quad (10)$$

где ρ_c - радиус вращения центра масс системы (патрон, присоединяемая деталь) относительно оси шпинделя.

При совмещении осей после соприкосновения деталей за один оборот необходимо, чтобы сохранялось движение по окружности до попадания детали в резьбовое отверстие базовой. Это возможно если выполняется условие

$$M\rho\dot{\omega} \geq \frac{C\rho f}{2\pi} \omega t + Q_m f, \quad (11)$$

где ρ - координата оси детали, C - жесткость пружины компенсации патрона, p - шаг резьбы, Q_m - вес подвижных частей патрона за пружины, f - коэффициент трения. Решая уравнение при условии, что $t \leq 2\pi/\omega$, получим соотношение для вертикального расположения шпинделя

$$C \leq \frac{M(\gamma - \varepsilon)\omega^2 - Q_m \cdot f \cdot 2\pi}{p \cdot f \cdot \pi}, \quad (12)$$

где γ - радиус резьбы. Для горизонтального расположения шпинделя

$$C \leq \frac{M(\gamma - \varepsilon)\omega^2 - M g \cdot 2\pi}{p f \cdot \pi}. \quad (13)$$

На этапе собственно наживления деталь, находясь в отверстии базовой детали продолжает совершать вращение относительно собственной оси и колебание относительно оси шпинделя. При этом скорость заполнения впадины резьбы базовой детали заходным витком присоединяемой детали складывается из скорости нарастания наружного диаметра на заходном витке присоединяемой детали, равной $V_H = h \cdot \omega$ и скорости колебаний относительно оси шпинделя $V_n = \dot{\theta} \cdot r$. В тоже время, любая точка заходного витка присоединяемой детали должна двигаться по винтовой поверхности описываемой уравнениями

$$X = r \cdot \cos \omega t, \quad Y = r \cdot \sin \omega t, \quad Z = p \omega t / 2\pi. \quad (14)$$

Следовательно, для условия совмещения резьбовых поверхностей, движение любой точки заходного витка должно соответствовать уравнению

$$h^2 \cdot \omega^2 + \dot{\theta}^2 r^2 = r^2 \omega^2 + p^2 \omega^2 / 4\pi^2, \quad (15)$$

где r - радиус точки относительно оси детали, ω - скорость вращения детали, θ - угол пересечения осей сопрягаемой детали и шпинделя. Одновременно с деталью точка совершает колебание относительно оси шпинделя. Это движение описывается уравнением

$$\ddot{\theta} + \frac{(M\ell_1^2 + J_{x1})\omega^2 + C\Delta n f \tau/2 + P - C\Delta n^2 \ell/\ell_2}{M\ell_1^2 + J_{x1}} \theta = 0. \quad (16)$$

Решая уравнения 14, 15, 16, получим значение скорости вращения на этом этапе

$$\omega = \frac{k\beta_{np} \operatorname{ctg} kt \cdot 2\pi \tau}{\sqrt{4\pi^2(\tau^2 - k^2\rho^2)}}. \quad (17)$$

Полученные уравнения позволяют рассчитать режимы сборочного процесса при условии наживления резьбовой детали с минимальным временем.

В работе приведена конструкция патрона для автоматического наживления и затяжки гаек и болтов винтового соединения. Патрон позволяет компенсировать значительные погрешности $\Delta\Sigma$ при выполнении условия $k\Sigma < \beta_{np}$. Величина погрешности $\Delta\Sigma$ может быть равная 2 мм, при этом патрон обеспечивает наживление по описанному технологическому процессу.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям процесса наживления: 1) проверке правильности выведенных необходимых условий безотказного наживления, которые определяют геометрические размеры исполнительных механизмов; 2) проверке выведенных зависимостей, определяющих наживление за один оборот шпинделя.

Экспериментальные исследования проводились на установке, которая имитирует исполнительный механизм для сборки групповых РС. Установка имеет два шпинделя и может осуществлять как вертикальную, так и горизонтальную сборку.

Была проведена серия многофакторных экспериментов по исследованию процесса наживления. В качестве выходной функции был принят один из показателей надежности — наработка на отказ T_0 . За отказ принималось ненаживление хотя бы на одном из шпинделей. В качестве образцов были взяты резьбовые детали: гайки, болты и шпильки, которые применяются на заводах ГАЗ, ЗИЛ, АЗЛК. Исследуемые параметры: средний диаметр резьбового соединения $d_{ер}$ для резьбы М6-М20; размер фаски на заходной части резьбы болта (шпильки) f_{c1} и отверстия (гайки) f_{c2} ; жесткость шпиндельного узла $j_{ш}$; зазор между ориентирующими поверхностями патрона и присоединяемой деталью δ_{λ} ; погрешность положения сопрягаемой поверхности базовой

вой детали ε , на экспериментальной установке она задавалась смещением E оси резьбовой поверхности базовой детали относительно оси шпинделя; угловая скорость вращения шпинделей резьбозавертывающих механизмов ω ; скорость перемещения шпиндельного узла V ; осевая сила P_o ; жесткость пружины осевой компенсации ε . Регулирование скорости вращения шпинделей осуществлялось ступенчато в диапазоне от 31.4 до 125.6 рад/с с интервалом через 15.7 рад/с. Скорость перемещения шпиндельного узла регулировалась бесступенчато в диапазоне от 0.03 до 0.3 м/с. Осевая сила задавалась сменными пружинами с шагом 30 Н от 180 Н. Зазор δ изменялся в диапазоне 0.1 мм – 1.5 мм с интервалом 0.2 мм, в зависимости от схемы базирования присоединяемой детали (гайки).

Были проведены эксперименты для гаек, шпилек и болтов. Гайки базировались на стержневом ловителе и без него, шпильки базировались за резьбовую часть и за стержень. Перед наживлением шпильки устанавливались в призматическом ловителе. Базирование болтов осуществлялось в отверстии присоединяемой детали и по шестиграннику головки. Результаты экспериментов позволили сделать следующие выводы. Полученные необходимые условия (см. формулы 4–7) обеспечивают автоматическое наживление с безотказностью 600 циклов и более. Наибольшая безотказность наблюдалась при скоростях вращения шпинделя $\omega = 31.4\text{--}62.8$ рад/с и осевой силе 150–180 Н и меньше. Эти значения режимов автоматического наживления обеспечивают безотказность для всех схем базирования и исполнительных механизмов резьбовых деталей для патронов применявшихся в эксперименте. Изменение массы патрона требует изменения скорости вращения в соответствии с выражениями 14–16. При наживлении болтов винтового соединения его базирование в отверстии присоединяемой детали нежелательно. В этом случае затруднена компенсация несоосности шестигранника ключа с головкой болта. Рекомендуется наживление болтов производить при базировании их в патроне. Для осуществления такой схемы базирования использовалась предложенная в работе конструкция патрона. Исследования безотказности ее работы показали, что данная конструкция обеспечивает и надежное совмещение и захват головки болта и безотказное наживление.

Применение патронов с компенсационной муфтой расширяет технологические возможности механизмов, позволяет производить безотказ-

ное нажатие со смещением осей сопрягаемых поверхностей до 2-х миллиметров при фасках на деталях 0.5 мм.

Вторая серия экспериментов проводилась с помощью специального приспособления позволяющего записывать траекторию перемещения болта и шпильки. Эксперименты показали, что траектория присоединяемой детали на этапе совмещения осей близка к окружности при скоростях вращения шпинделя $\omega = 32-65$ рад/с, при включении вращения до соприкосновения деталей. При скорости более 100 рад/с нажатие практически не происходило. При скоростях менее 30 рад/с время нажатия превышает время двух оборотов шпинделя и присоединяемая деталь движется по сложной траектории. Следовательно полученные зависимости обеспечивают условия нажатия при скоростях вращения шпинделя $\omega = 30-70$ рад/с.

В пятой главе рассматривается влияние конструкции групповых резьбовых соединений на производительность их автоматической сборки и предлагается методика количественной оценки технологичности конструкции РС.

Потери производительности сборочного автоматического устройства могут быть учтены коэффициентом η_g равным

$$\eta_g = \tau_p / (\tau_p + \tau_{ng}), \quad (18)$$

где τ_p - время работы механизма за период наблюдений, τ_{ng} - время простоя механизма из-за отсутствия сборки. Конструкция большинства автоматов не предусматривает остановку при отсутствии сборки (брак направляется на исправление вне автомата или линии). В этом случае время простоя можно определить из выражения $\tau_{ng} = T_u \cdot n_{ng}$, где n_{ng} - количество несобранных сборочных единиц. При проектировании новых процессов и линий количество несобранных единиц может быть определено через вероятность выполнения соединения

$$n_{ngi} = N \cdot (1 - p_{ni}), \quad (19)$$

где p_{ni} - вероятность выполнения соединения, N - заданная программа выпуска. Групповые РС состоят из нескольких деталей соединяемых по различным поверхностям и с различными посадками. В этом случае суммарное количество несобранных единиц равно

$$\sum_{i=1}^j n_{ngi} = N \cdot \sum_{i=1}^j (1 - p_{ni}), \quad (20)$$

где n_{ngi} - количество несобранных i -ых соединений, p_{ni} - вероятность выполнения i -го соединения, j - количество соединений. Ве-

роятность выполнения конкретного соединения может быть косвенно определена коэффициентом технологичности соединения, учитывающим условия автоматической сборки соединения и конструктивные элементы соединения оказывающие на нее влияние.

Исходя из этого в работе предложена методика количественной оценки технологичности конструкции РС для условий автоматической сборки. Количественная оценка технологичности основана на системе технических показателей, рассчитанных по коэффициентам технологичности и уровням их значимости. Численные значения коэффициентов находятся в пределах $0 < K_{tci} \leq 1$. Технологичность соединений входящих в РС оценивают суммарным показателем K_{tci} , который определяют на основе показателей функциональных элементов соединения $K_{tci,j}$ и уровней их значимости λ_i по уравнению

$$K_{tci} = \sum K_{tci,j} \cdot \lambda_i / \sum \lambda_i. \quad (21)$$

По нормативным значениям оценивают возможность автоматизации данного соединения, а по соединениям всего РС в целом. Уровни значимости λ определялись из производственного эксперимента, как степень влияния того или иного элемента на безотказность сборки соединения. Коэффициенты K_{tci} оценивают возможность конструкции соединения в выполнении условий автоматической сборки.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований процессов автоматической сборки резьбовых деталей установлено, что на выполнение этапа наживления оказывают влияние параметры исполнительного механизма (суммарная величина зазоров в патроне, жесткость компенсирующей пружины, габариты и масса патрона), параметры собираемых деталей (допуски на межосевые расстояния, допуски на размер сопрягаемых поверхностей, допуски на взаимное положение сопрягаемых и базовых поверхностей) и скорость вращения присоединяемой детали.

2. На основе анализа этапов процесса наживления и кинематической установки установлено, что компенсация погрешностей базирования сопрягаемых поверхностей происходит за счет зазоров в патроне при суммарной погрешности взаимного положения осей сопрягаемых поверхностей не более 1.5 мм, $\Delta \Sigma \leq 1.5$ мм. Для соединений с $\Delta \Sigma > 1.5$ мм необходимо применение патрона с компенсационной муфтой.

3. Анализ процесса сборки групповых РС показал, что на качество сборки (стабильность усилия затяжки в групповом РС) оказывает влияние одновременное наживление всех резьбовых деталей в групповом РС. В работе получены и экспериментально подтверждены зависимости, позволяющие определить режимы работы оборудования, при которых наживление осуществляется за один оборот: угловая скорость вращения $\omega = 47.1-78.5$ рад/с и осевую силу $P_o = 150-180$ Н.

5. Стабильность времени наживления всех резьбовых деталей группового РС обеспечивается при включении вращения шпинделя до соприкосновения собираемых деталей. Такая последовательность процесса автоматического наживления позволяет повысить производительность на 10-12% за счет уменьшения времени наживления в 2-3 раза.

6. Настройку исполнительных механизмов по сборке РС необходимо производить по оси шпинделя. При этом создаются благоприятные условия компенсации погрешности базирования деталей. Для групповых РС настройку необходимо производить по любому из шпинделей при $\Delta \Sigma \leq 1.5$ мм. Для больших значений погрешности взаимного положения целесообразно настраивать каждый шпиндель в отдельности.

7. Установлено, что погрешность отклонения от перпендикулярности оси резьбовой поверхности относительно плоскости стыка не может быть компенсирована исполнительным механизмом. Величина этой погрешности не должна превышать $0.6 \beta_{пр}$ для единичных РС и $0.4 \beta_{пр}$ для групповых РС. Для различных размеров резьб отклонение от перпендикулярности не должно превышать 0.02-0.06 мм.

8. Предложена методика количественной оценки технологичности конструкции групповых РС, которая позволяет определить степень и пути конструктивных изменений деталей на этапе проектирования изделий и уменьшает время на обработку конструкции на технологичность на 20-30%.

9. Результаты работы внедрены в МКТЭИавтопром, г. Минск при проектировании процессов и исполнительных механизмов групповых РС. Ожидаемый экономический эффект 27 тыс. руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

И. Корсаков В.С., Холодкова А.Г., Максимович Б.Д. Автоматическое наживление резьбовых соединений // Комплексная механизация и автоматизация основного и вспомогательного производства. - Тезисы доклада всесоюзного научно-технического семинара. - М., 1981. - С. II - 15.

2. Требования к технологичности конструкции деталей и сборочных единиц двигателей при автоматической сборке: Поршни и шатуны, головка цилиндров, вал распределительный: РТМ 37.002.0383-83. / МКТЭИавтопром: Введен 1.07.83.- Минск, 1983.- 173 с.

3. Сборка резьбовых соединений с применением автоматических манипуляторов / Корсаков В.С., Алексеев А.В., Егоров В.П., Максимович Б.Д. // Автоматизация и механизация производства.- 1983. - №10. - С.2-6.

4. Холодкова А.Г., Максимович Б.Д., Егоров В.П. Оценка технологичности конструкций для условий автоматической сборки // Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении. - Ташкент, 1983. - С.23 - 25.

5. Холодкова А.Г., Максимович Б.Д. Технологические требования к конструкции цилиндрических соединений в условиях автоматической сборки // Известия вузов.Машиностроение.- 1987.- 14.- С.143-146.

6. Холодкова А.Г., Максимович Б.Д., Егоров В.П. Повышение надежности автоматизированной сборки путем отработки конструкции на технологичность // Сборник научных трудов НИИПМАП.- Краматорск, 1987. - С.78 - 87.

Handwritten signature

